



# NACHHALTIGES BAUEN

NABA MASTER GRUPPE 06 WS21/22

Technische Hochschule Mittelhessen

Prof. Maik Neumann, Herr Hillgärtner

Bechlinger, Michel	5178461
Köse, Rukiye	5221075
Hassan, Refka	5198344
Schäfer, Lea	5195428

Abgabedatum: 01.03.2022

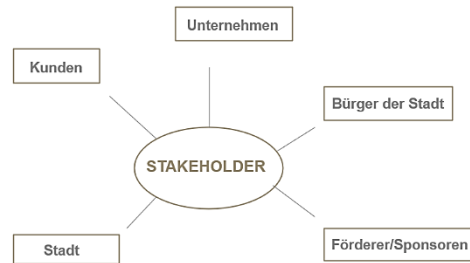
## Inhaltsverzeichnis:

1. Ebenen zur Orientierung bei der Planung.....	S.3
1.1. Ebene 1: Anspruchsgruppen (Stakeholder).....	S.3
1.2. Ebene 2: Integration des Themas „Best Practice“ in das Projekt.....	S.3
1.3. Ebene 3: Austausch/ Vernetzung/ Kooperation .....	S.3
2. Entwurfszeichnungen .....	S.4
2.1. Entwurfskonzept .....	S.4
2.2. Entwurfsgrundrisse mit verschiedenen Nutzungsvarianten.....	S.5
2.3. Sonnenstudie im Lageplan .....	S.7
2.4. Sonnenstudie im Schnitt .....	S.10
2.5. Visualisierungen .....	S.16
3. Konstruktion und Baustoffe .....	S.18
3.1. Konstruktion .....	S.18
3.2. Baustoffe.....	S.19
4. Mobilität .....	S.20
5. Mögliche Standorte .....	S.22
6. Energieversorgung .....	S.23
7. Ökobilanz .....	S.25
8. DGNB Kriterien .....	S.29
8.1. ECO 2.1 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit.....	S.29
8.2. TEC 1.6 Rückbau und Recyclingfreundlichkeit.....	S.29
8.3. ENV2.3 Flächeninanspruchnahme.....	S.29
9. Quellen .....	S.30

# 1. Ebenen zur Orientierung bei der Planung

## 1.1. Ebene 1: Anspruchsgruppen (Stakeholder)

- Unternehmen: Vorstellung „Best Practice“
- Kunden/Bürger
  - Ziel: Aufmerksamkeit erwecken
  - Planung eines besonderen Entwurfs
  - Geodätische Kuppel mit transparenter Oberfläche
  - Offener Raum mit direktem Einblick
  - Transport über Heißluftballon
  - Ergebnis: Gebäude weckt bereits von Weitem sehr großes Interesse



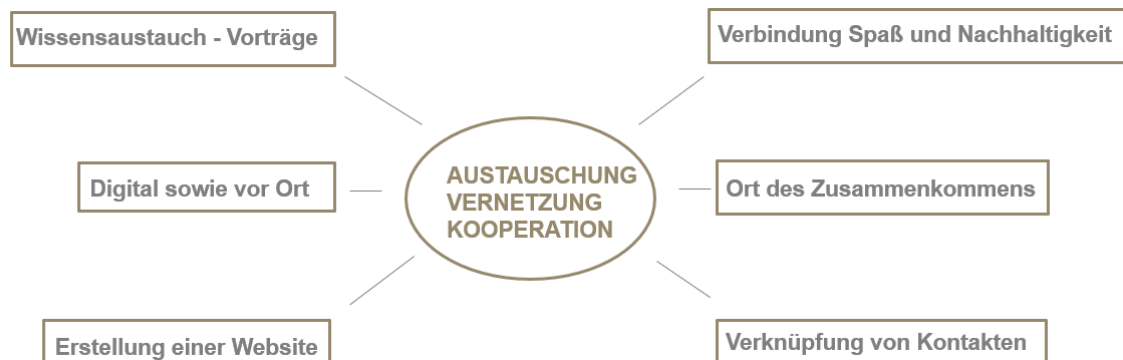
Mind Map: Ebene 1

## 1.2. Ebene 2: Integration des Themas „Best Practice“ in das Projekt



Mind Map: Ebene 2

## 1.3. Ebene 3: Austausch / Vernetzung / Kooperation

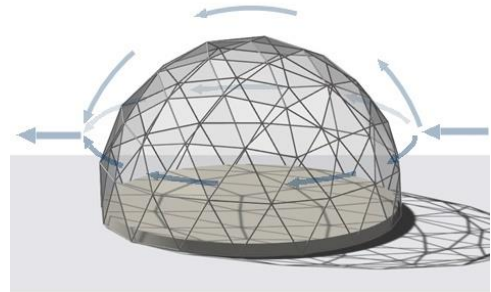


Mind Map: Ebene 3

## 2. Entwurfszeichnungen

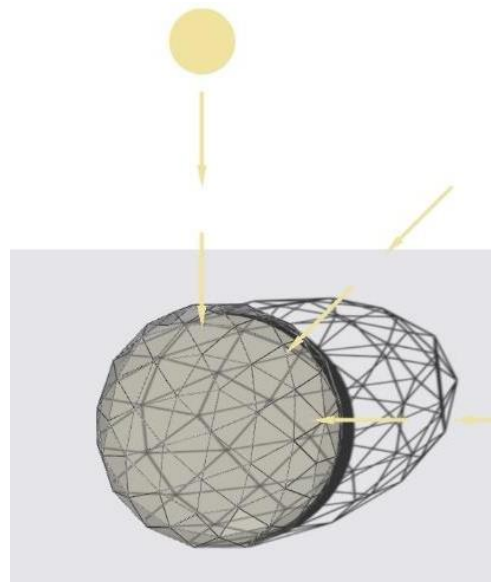
### 2.1. Entwurfskonzept: Geodätische Kuppel

- Hochfestes Kuppelbauwerk über Fachwerk-Struktur der zusammengefügte Dreiecke
- Standfest auch bei Wind- und Schneelasten
- Verteilung der Schneelasten auf gesamte Oberfläche
- Umgehung des Windes um die Kuppelform



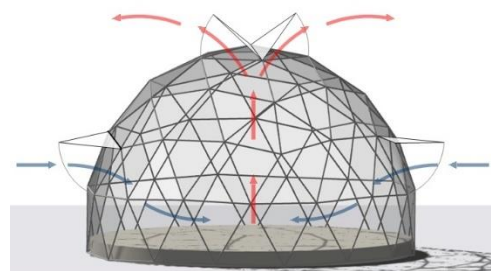
Piktogramm: Windbewegung

- Senkrechte Sonneneinstrahlung in das Kuppelbauwerk zu jeder Zeit
- Mögliche Überhitzung des Gebäudes
- Lüftungssystem notwendig
- Sonnenschutz / Beschattung notwendig



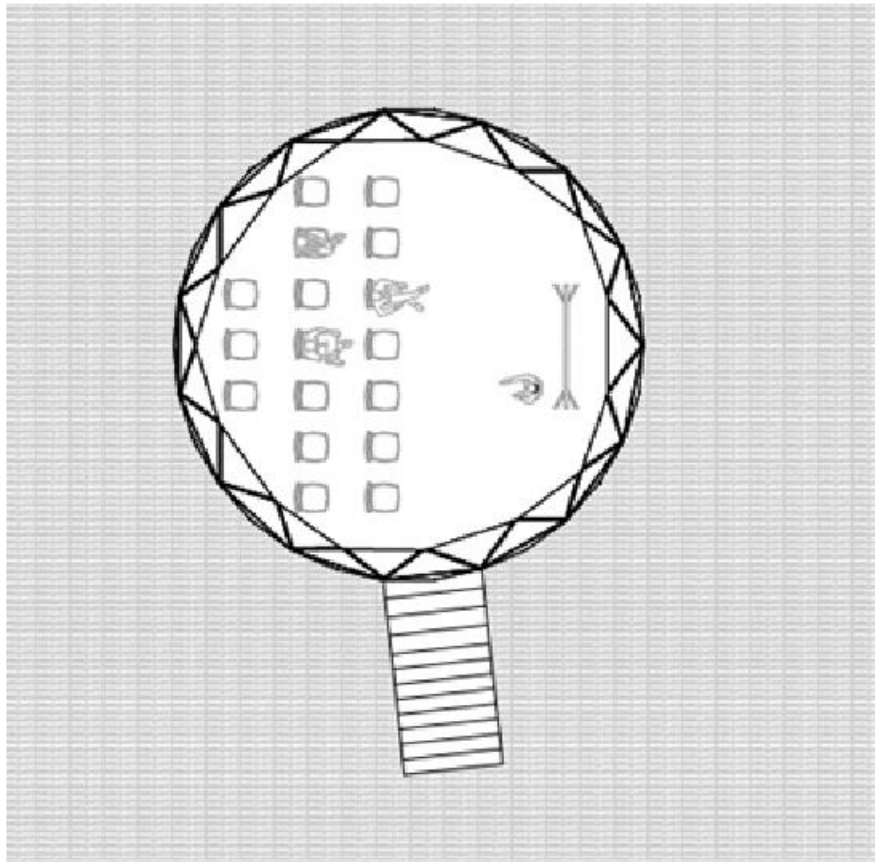
Piktogramm: Sonneneinstrahlung

- Kuppelform bietet passives Lüftungskonzept
- Dreiecksförmige Fenster
- Luftzirkulation:
  - Ausströmung der kalten Außenluft nach der Erwärmung im Innenraum über die Fenster

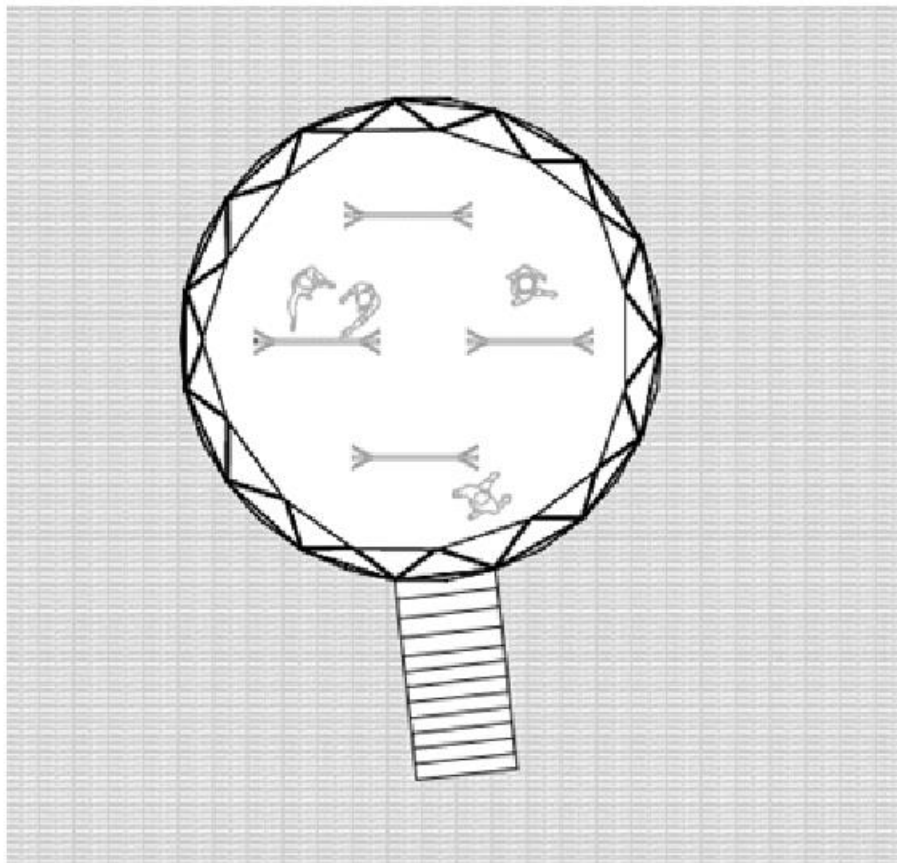


Piktogramm: Luftzirkulation

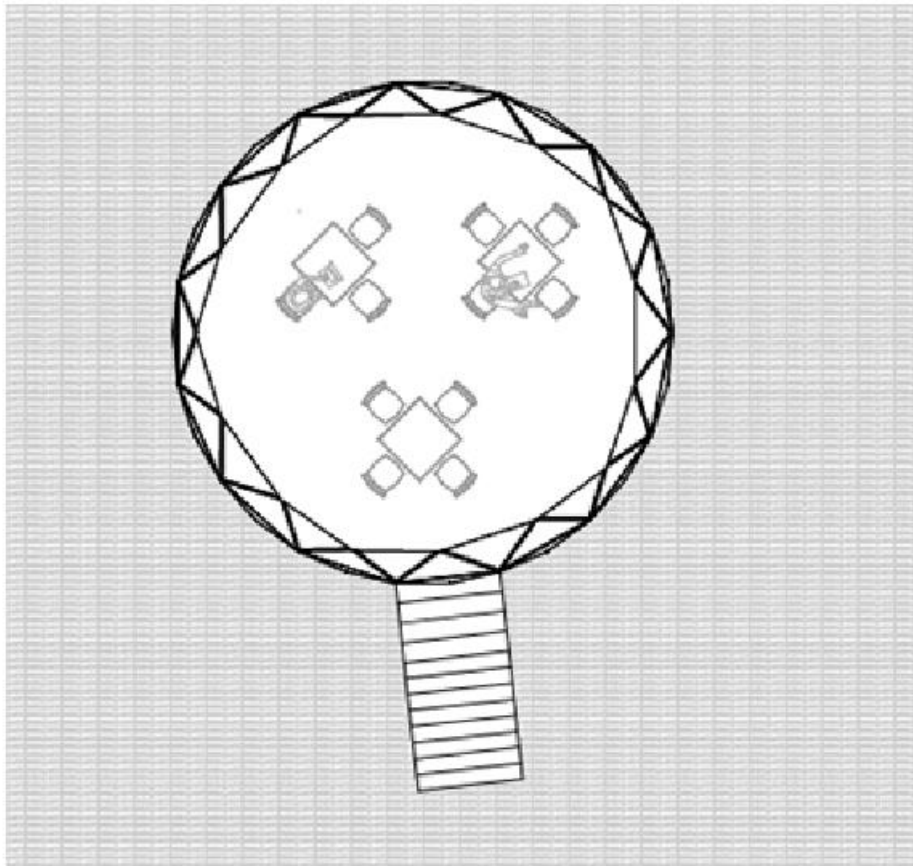
## 2.2. Entwurfsgrundrisse mit verschiedenen Nutzungsvarianten



Grundriss Entwurf Nutzungsvariante 1 M: 1:100

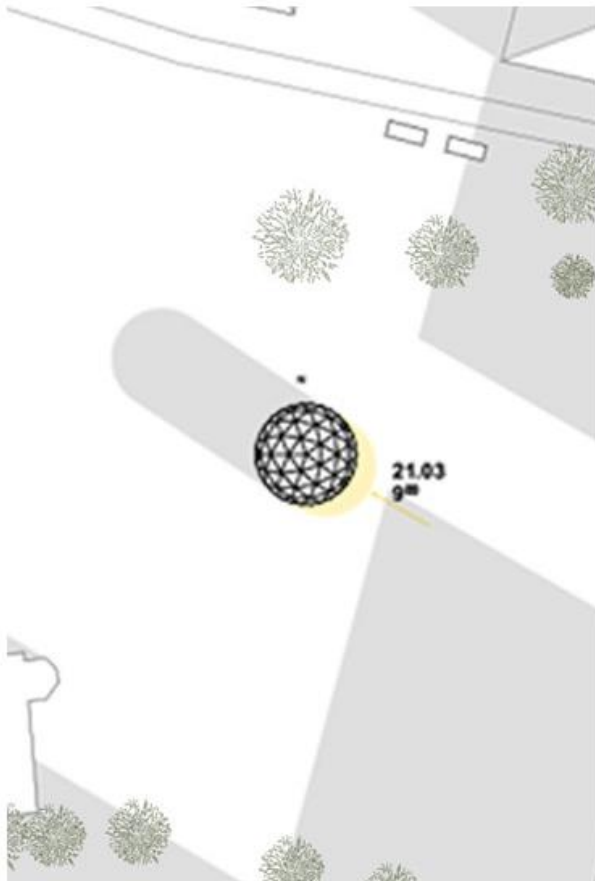


Grundriss Entwurf Nutzungsvariante 2 M: 1:100

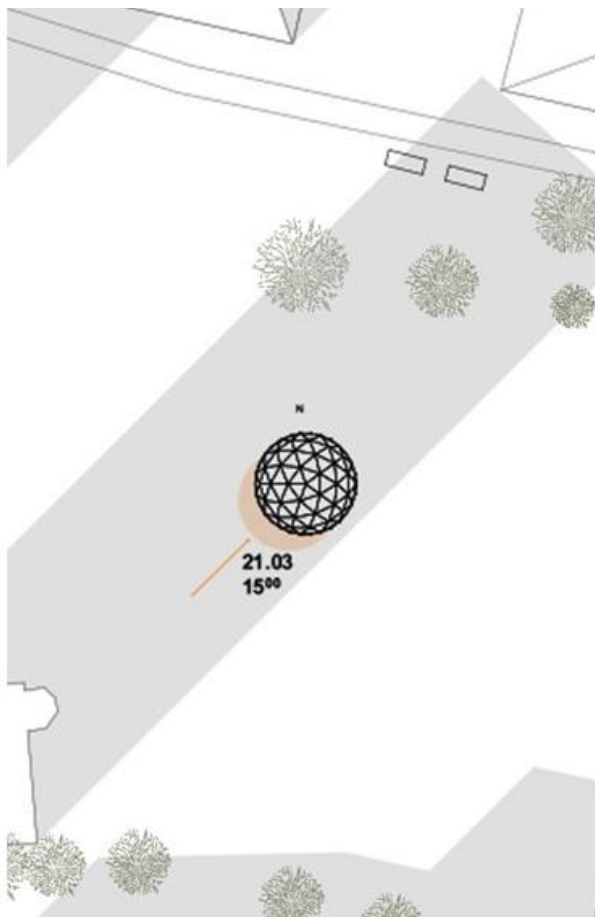
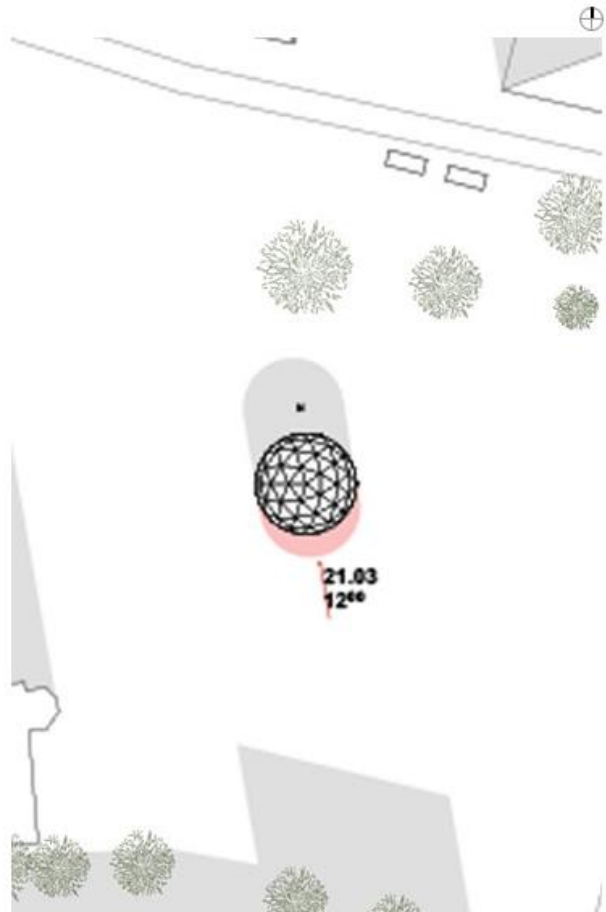


Grundriss Entwurf Nutzungsvariante 3 M: 1:100

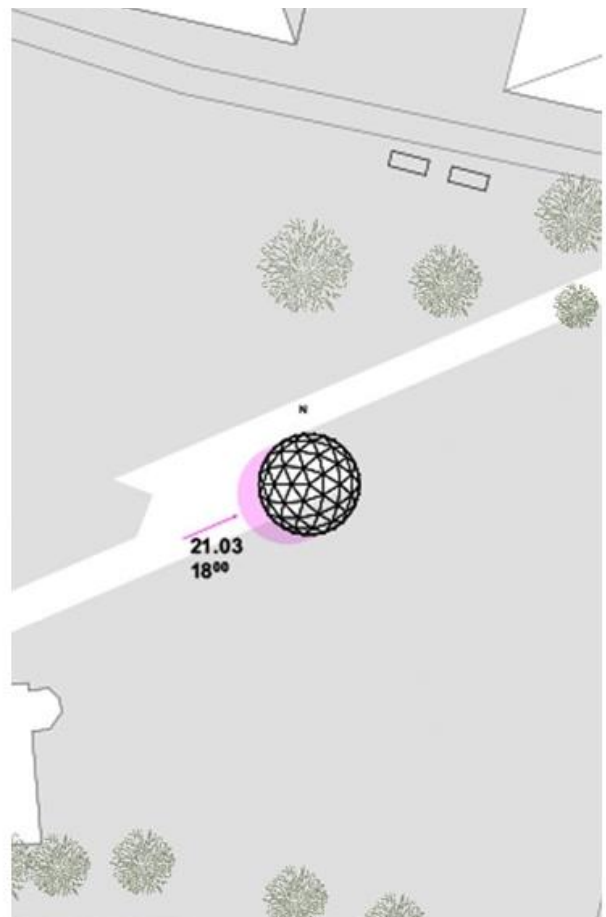
### 2.3. Sonnenstudie im Lageplan

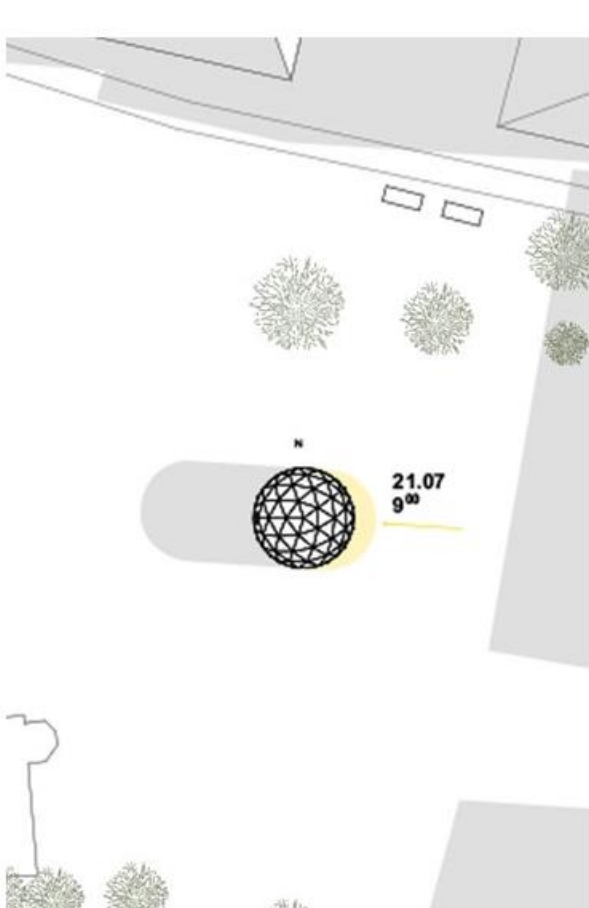


Schattenverlauf im Lageplan M: 1:500

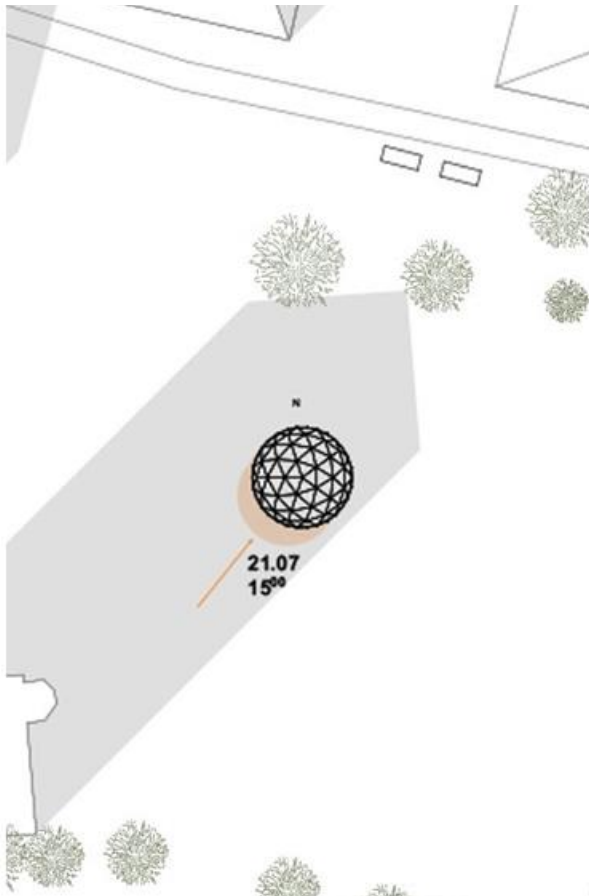
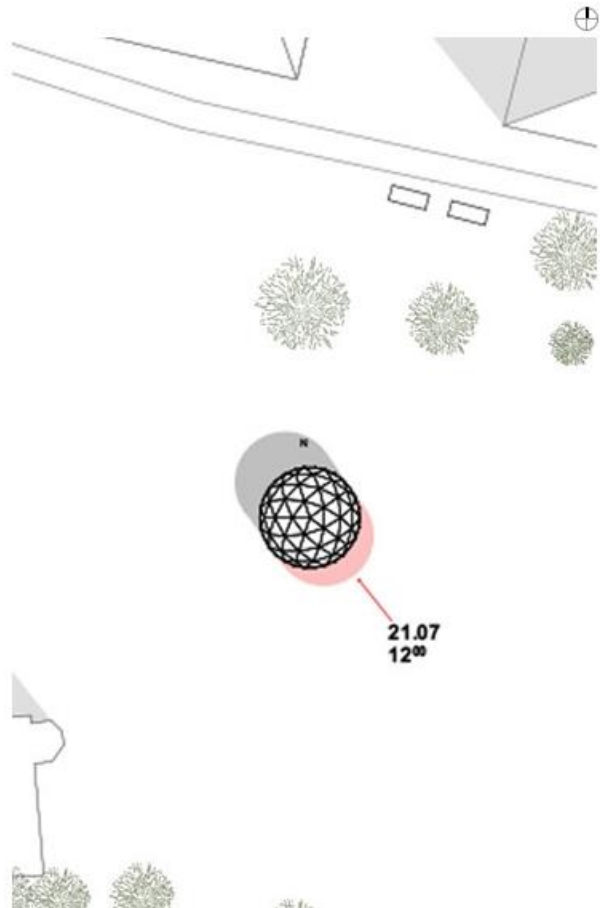


Schattenverlauf im Lageplan M: 1:500

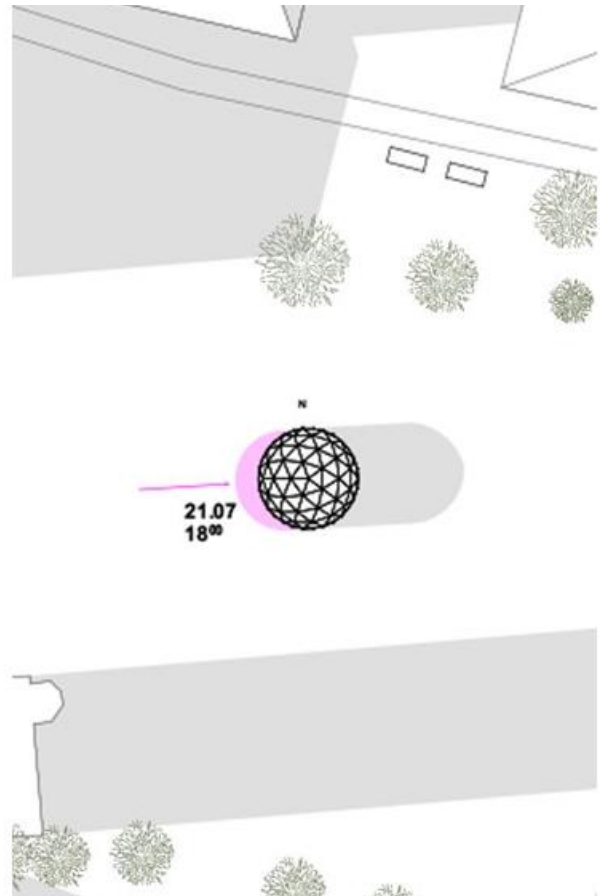




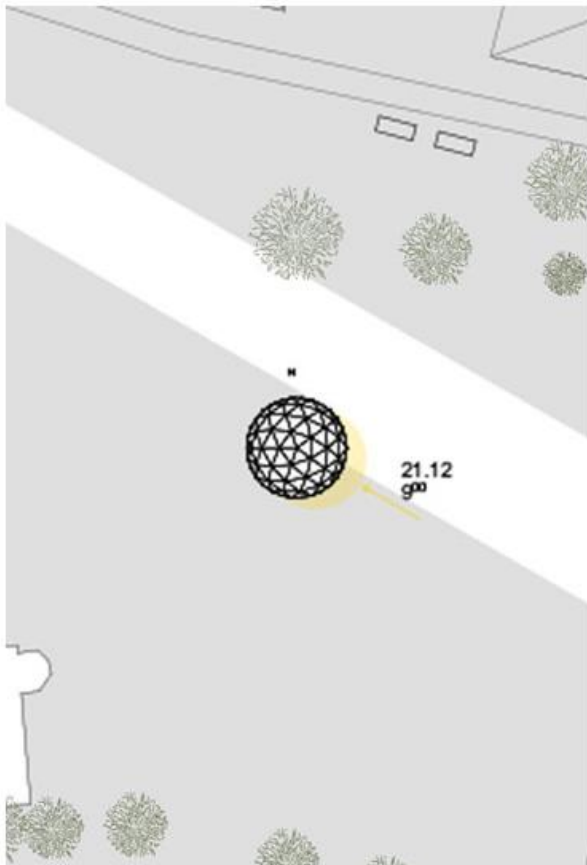
Schattenverlauf im Lageplan M: 1:500



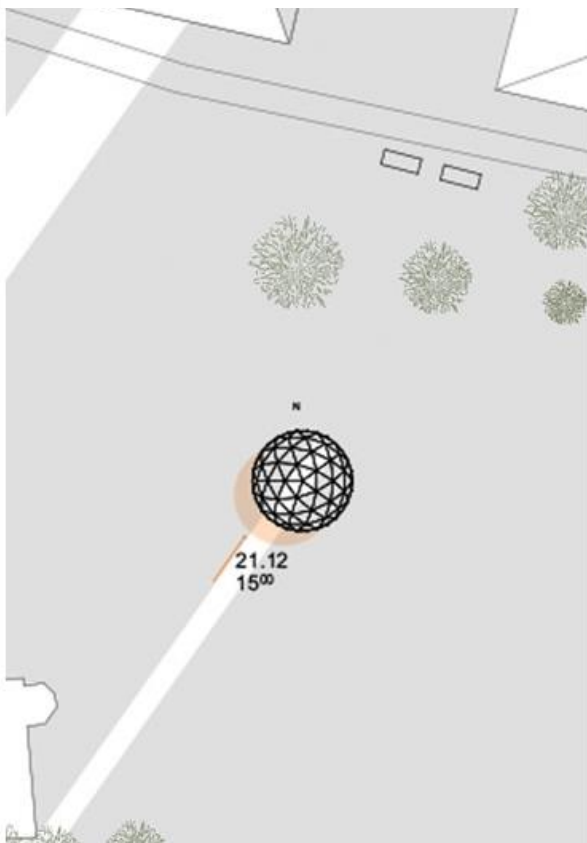
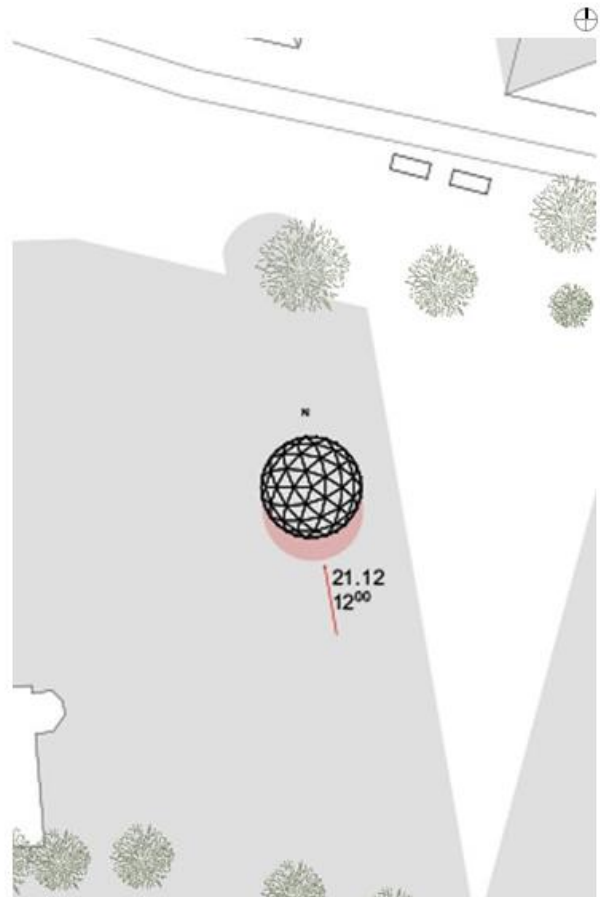
Schattenverlauf im Lageplan M: 1:500





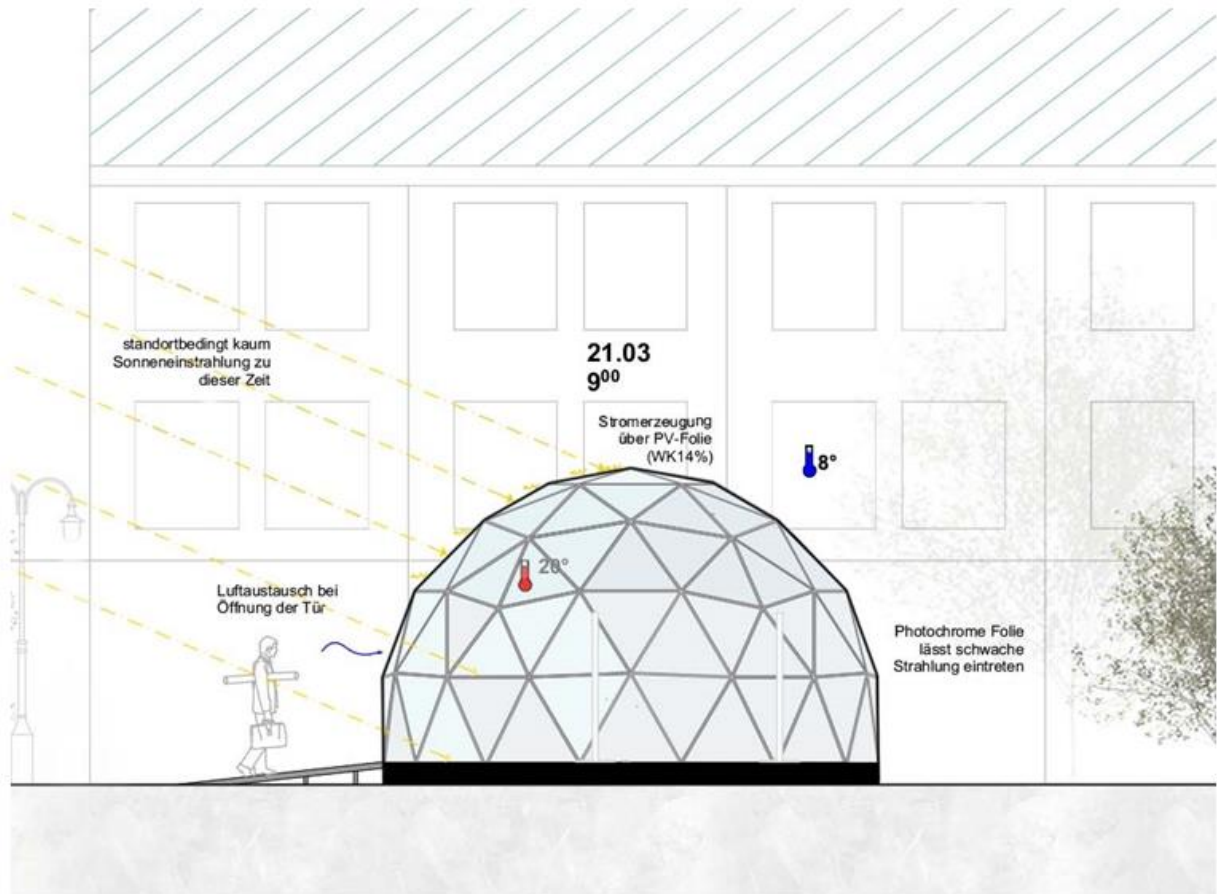


Schattenverlauf im Lageplan M: 1:500

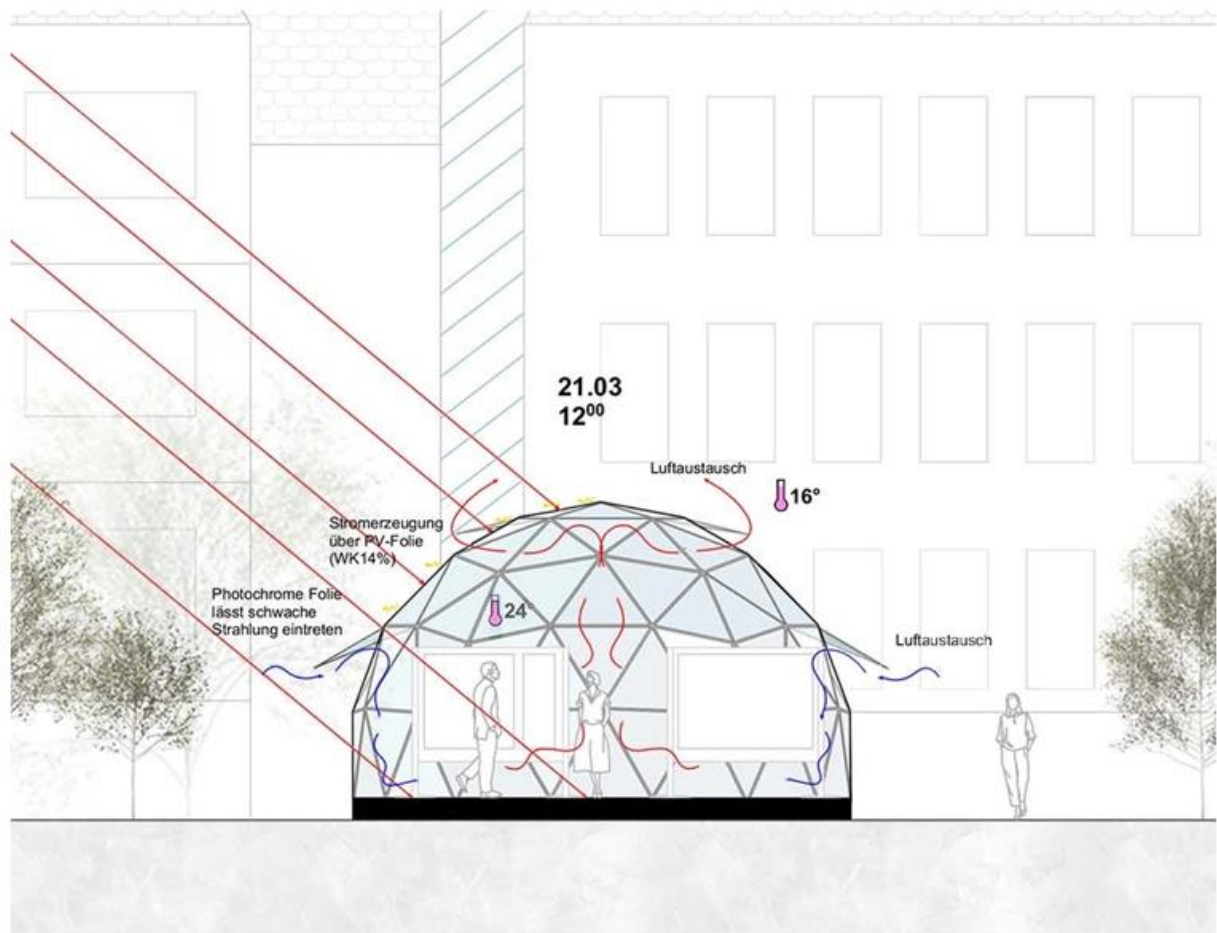


Schattenverlauf im Lageplan M: 1:500

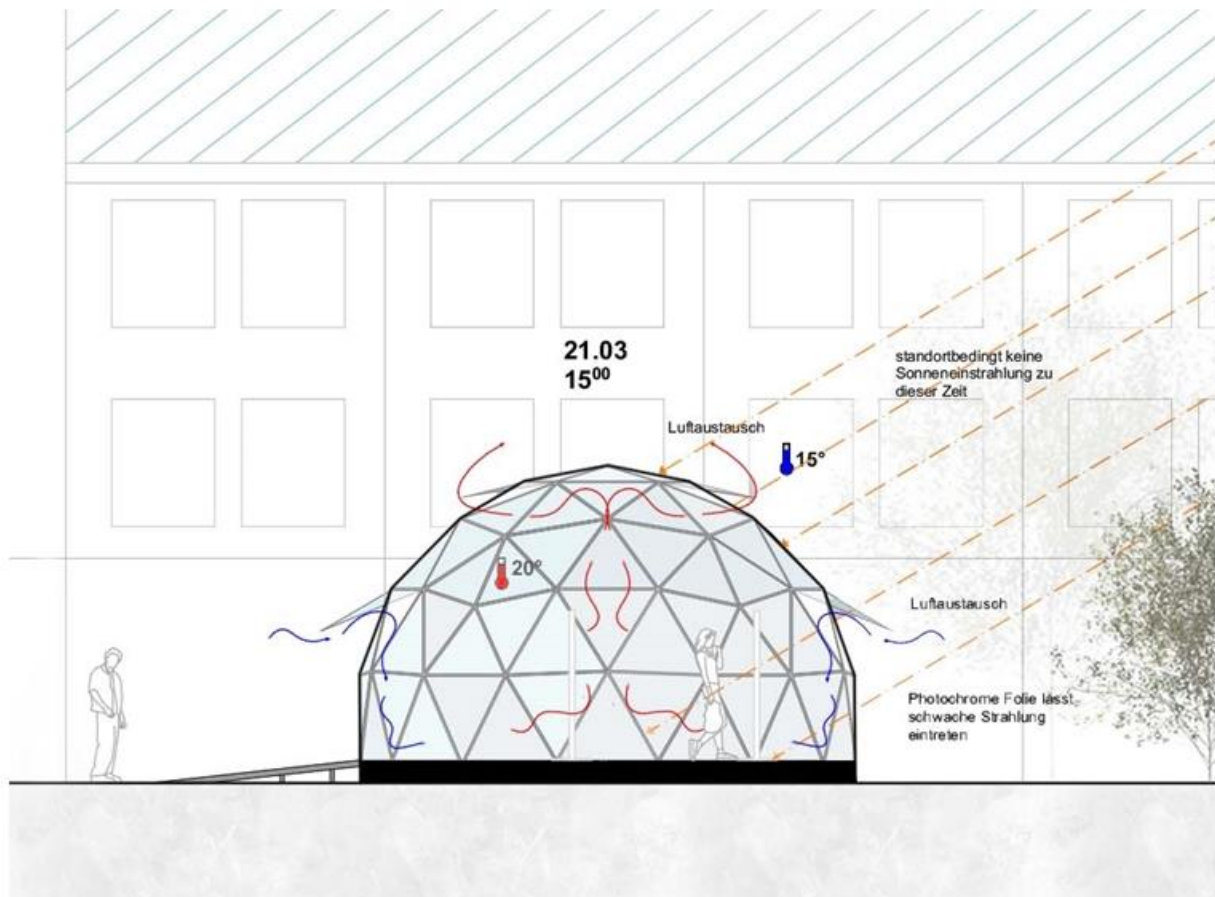
## 2.4. Sonnenstudie im Schnitt



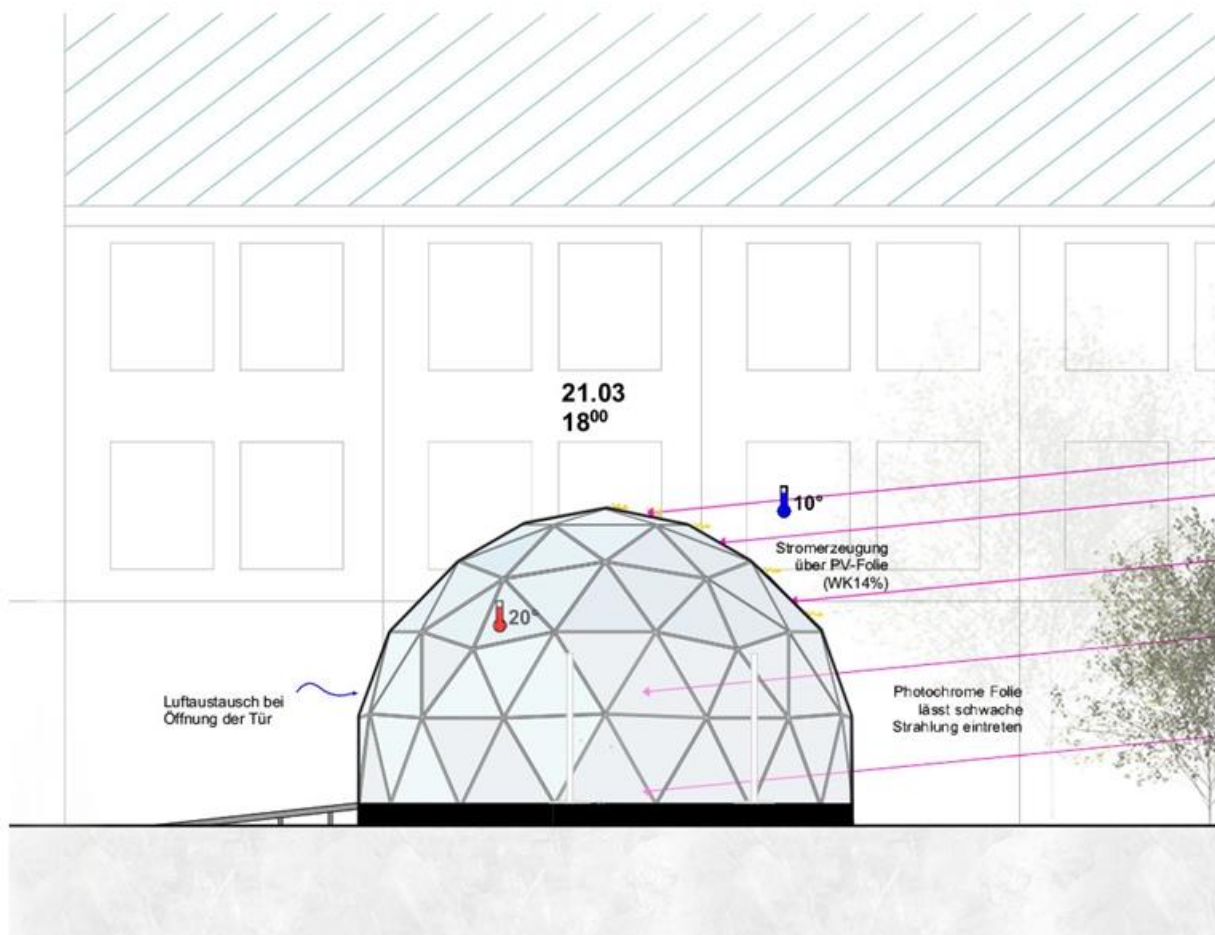
Schnitt Sonnenstudie **März 9:00 Uhr** M: 1:100



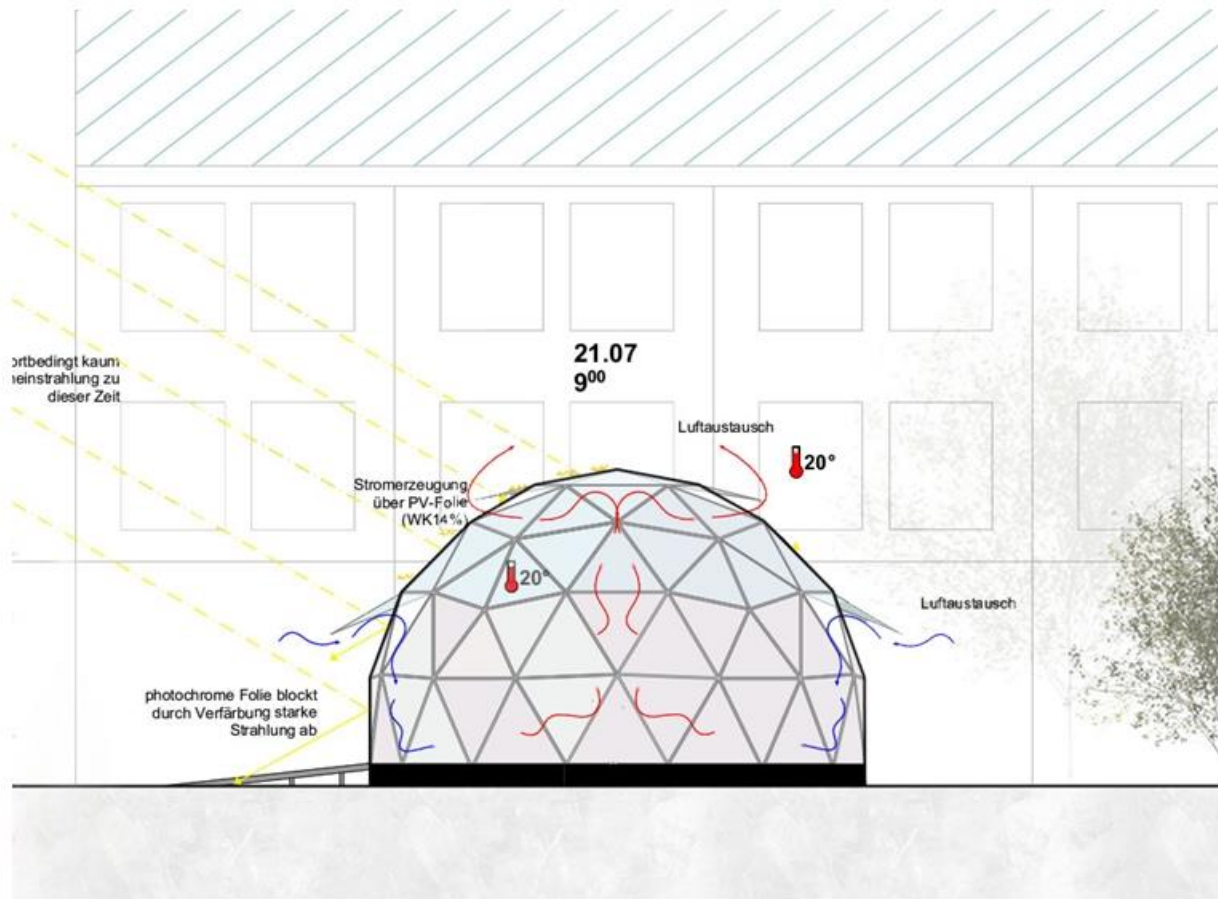
Schnitt Sonnenstudie **März 12:00 Uhr** M: 1:100



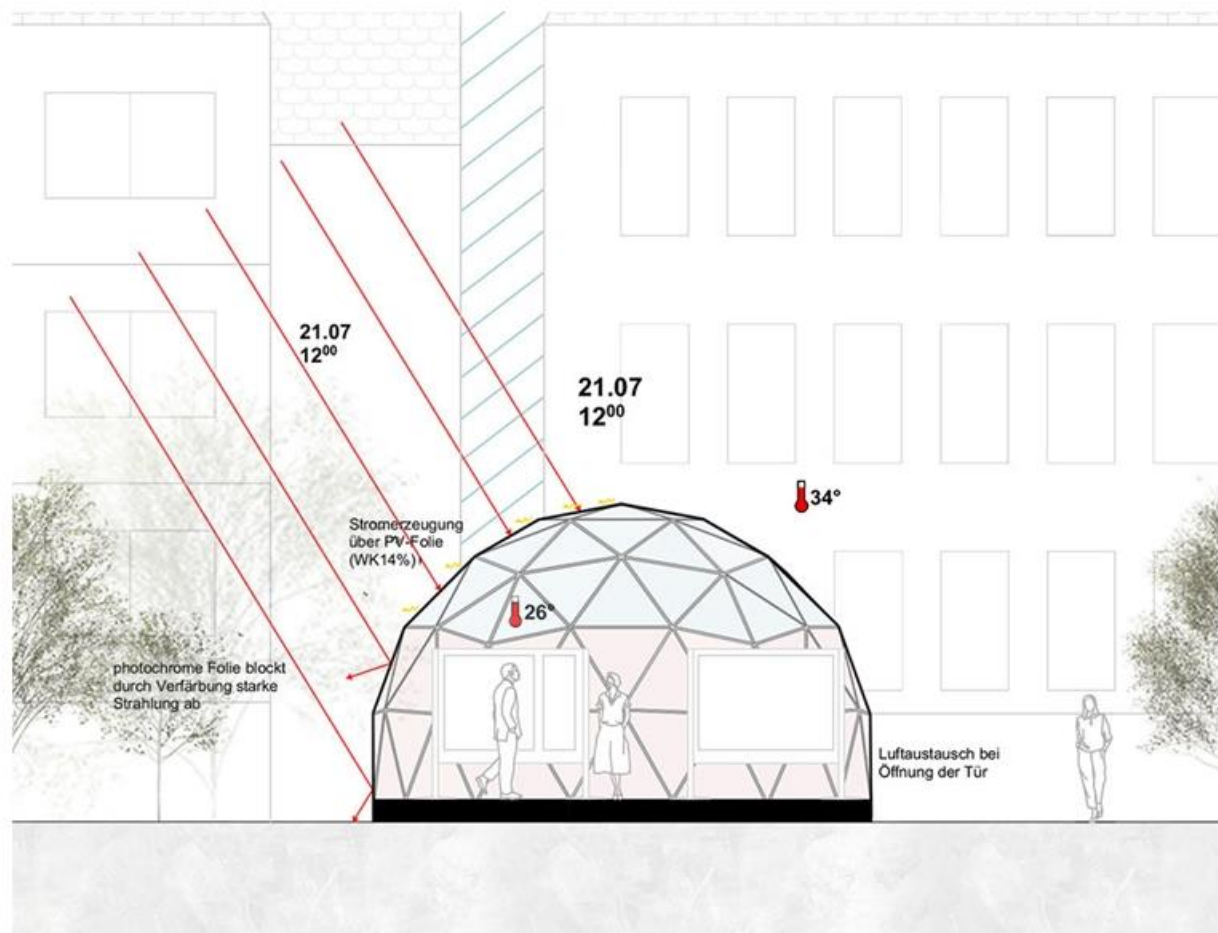
Schnitt Sonnenstudie März 15:00 Uhr M: 1:100



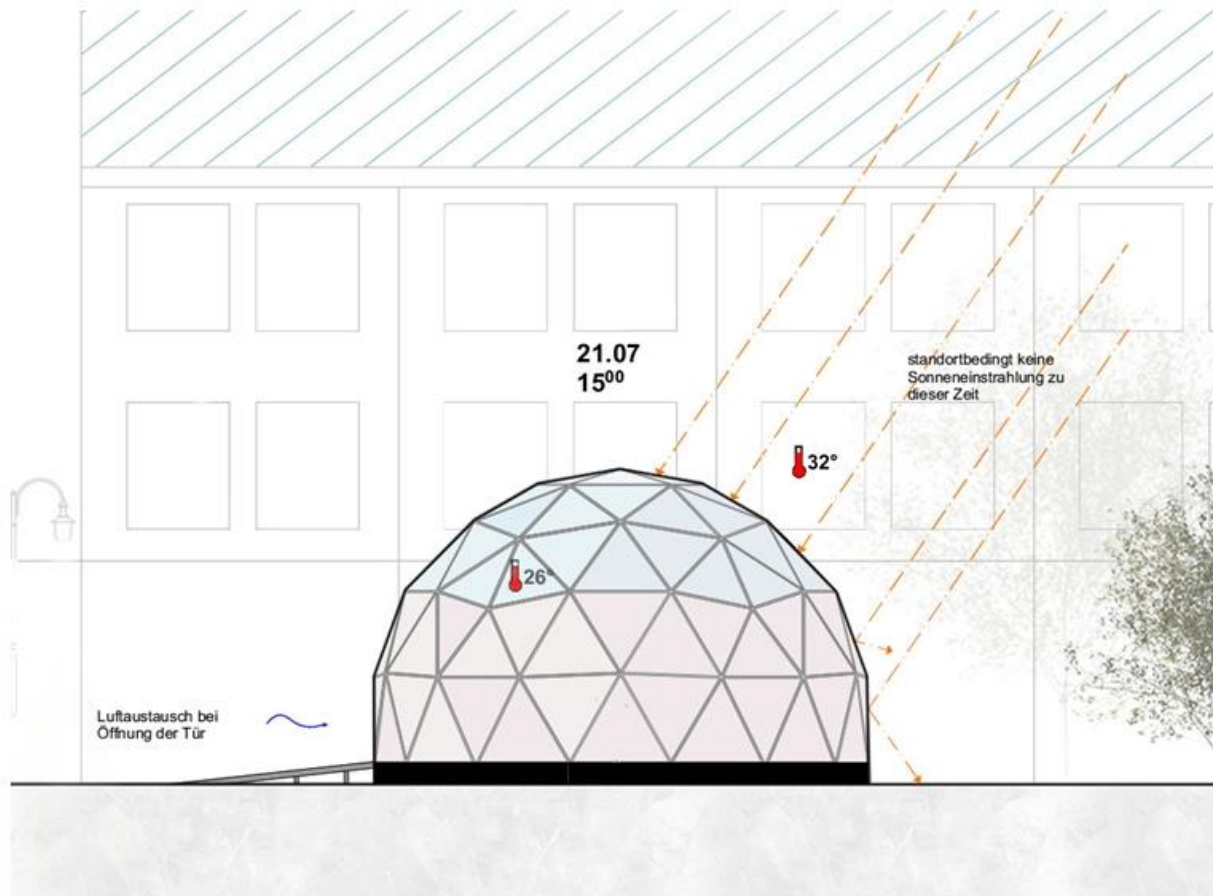
Schnitt Sonnenstudie März 18:00 Uhr M: 1:100



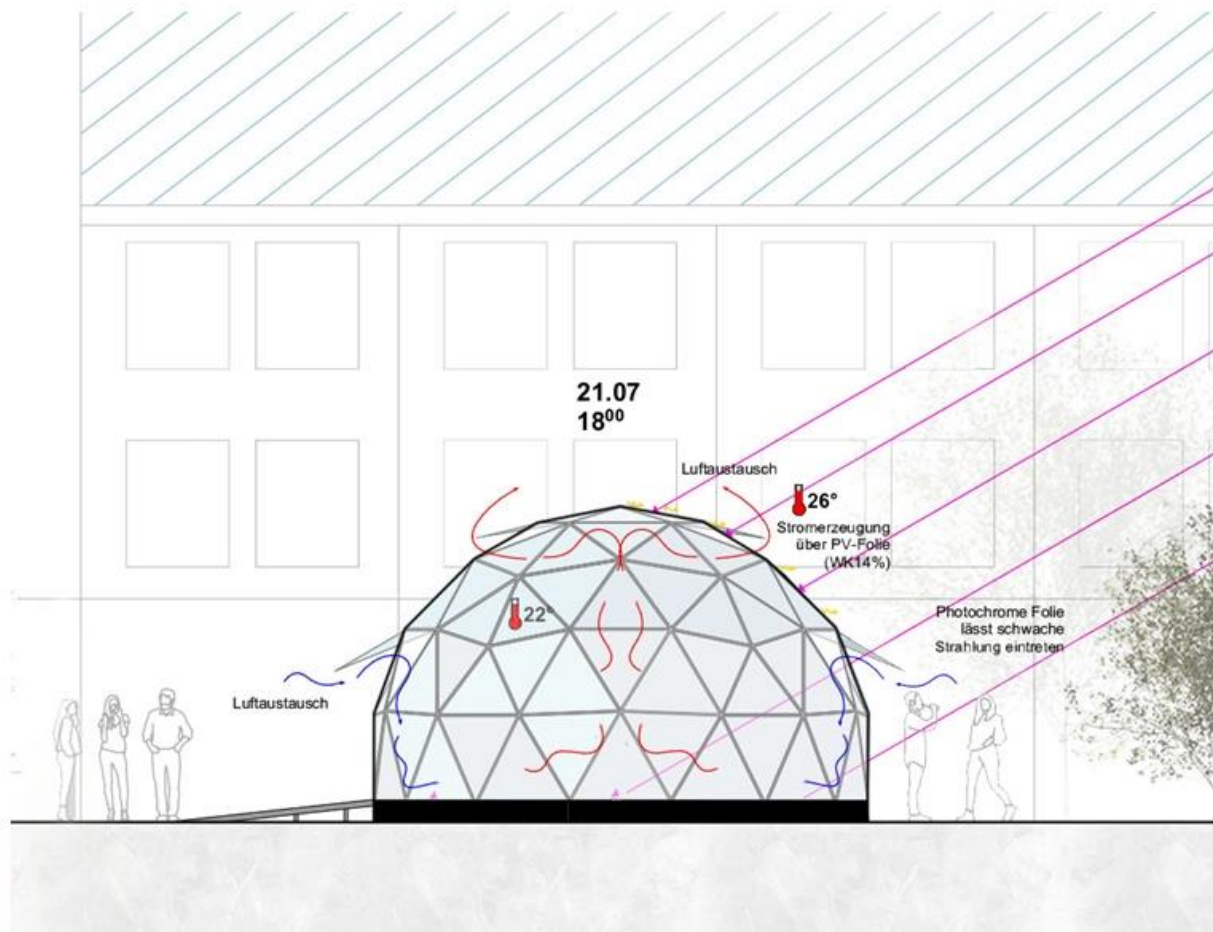
Schnitt Sonnenstudie Juli 09:00 Uhr M: 1:100



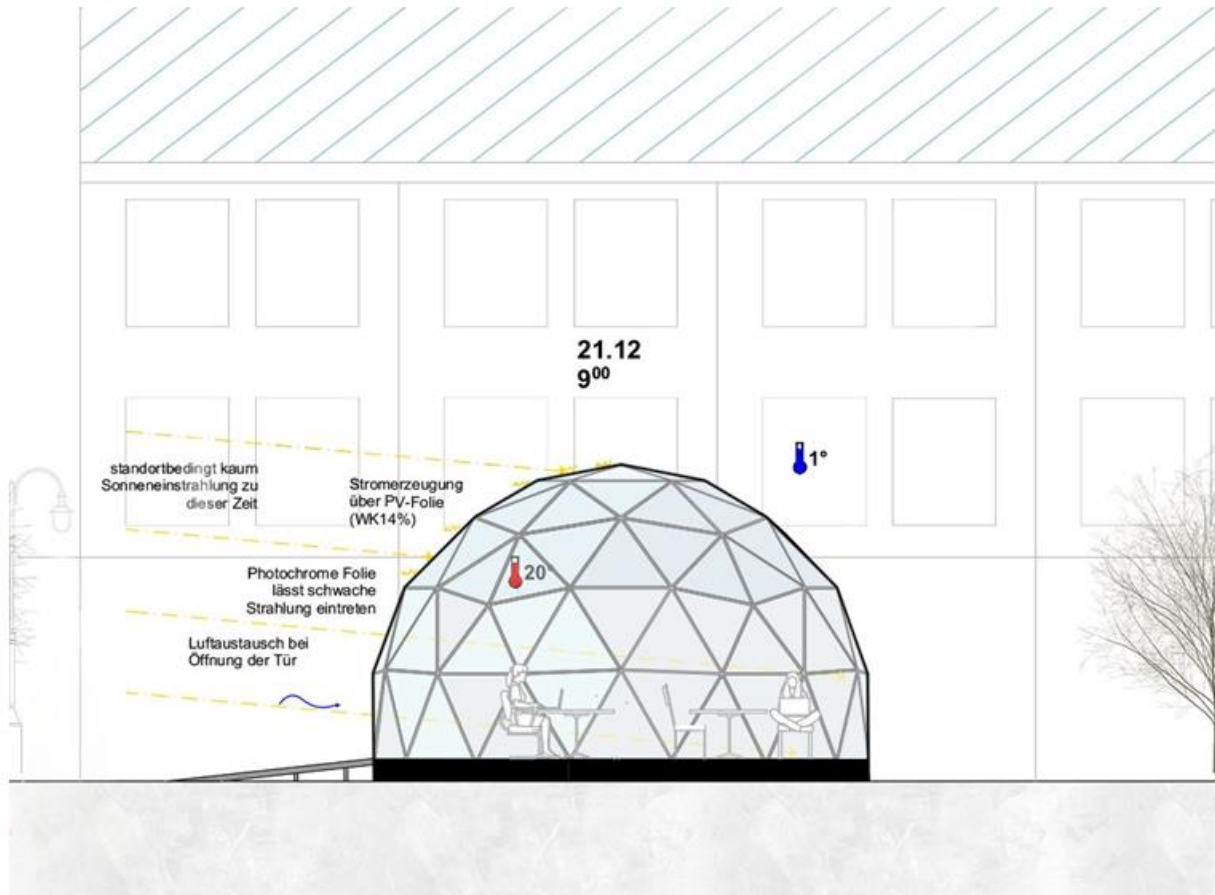
Schnitt Sonnenstudie Juli 12:00 Uhr M: 1:100



Schnitt Sonnenstudie Juli 15:00 Uhr M: 1:100

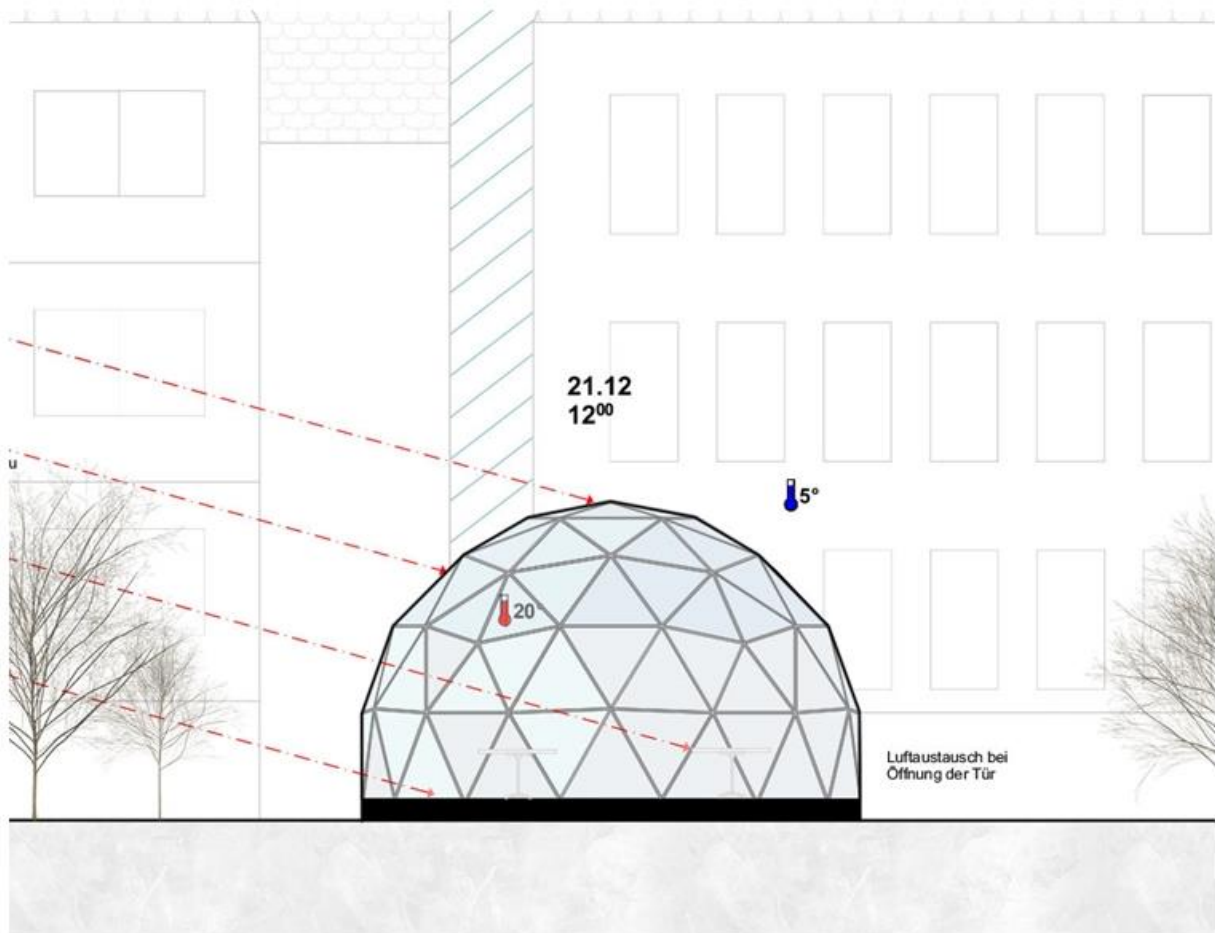


Schnitt Sonnenstudie Juli 18:00 Uhr M: 1:100



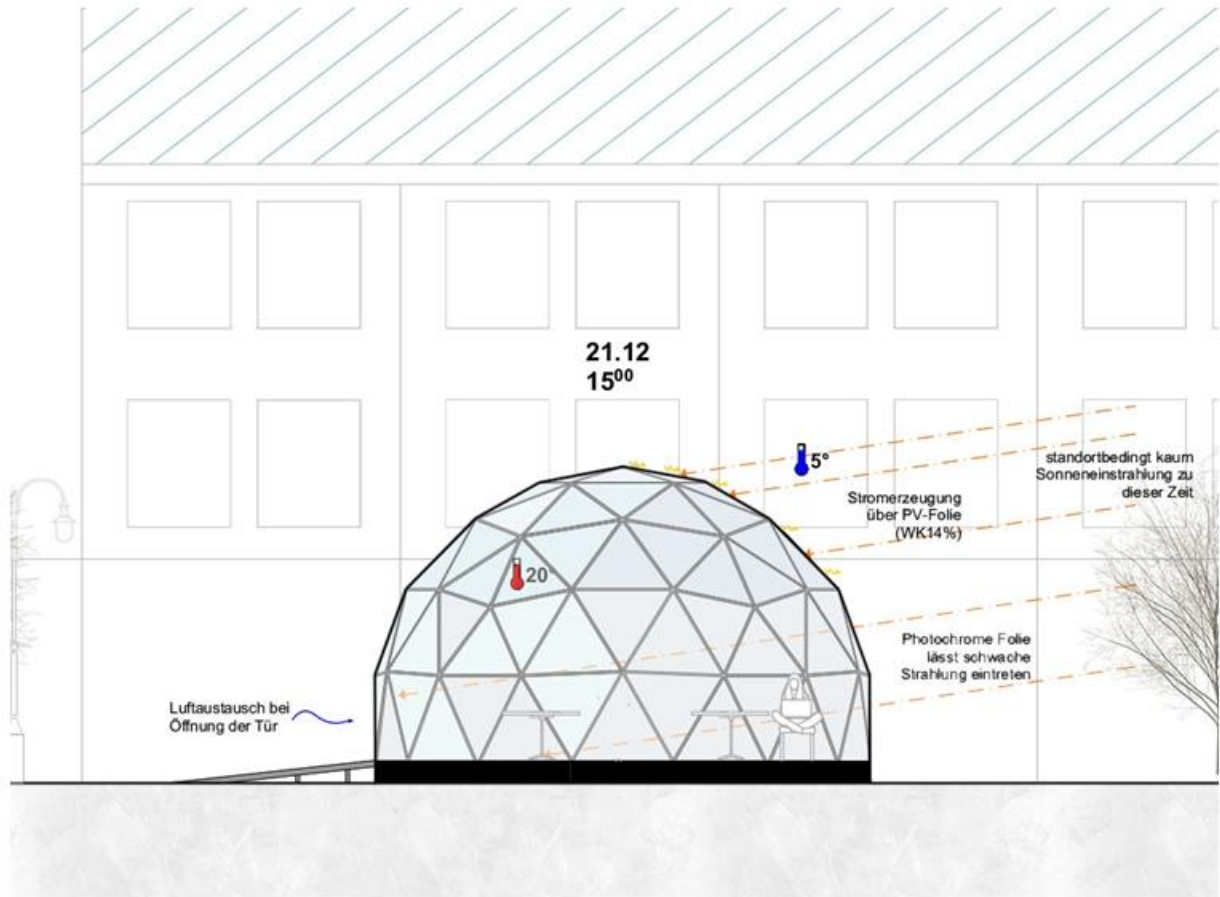
Schnitt Sonnenstudie **Dezember 09:00 Uhr**

M: 1:100



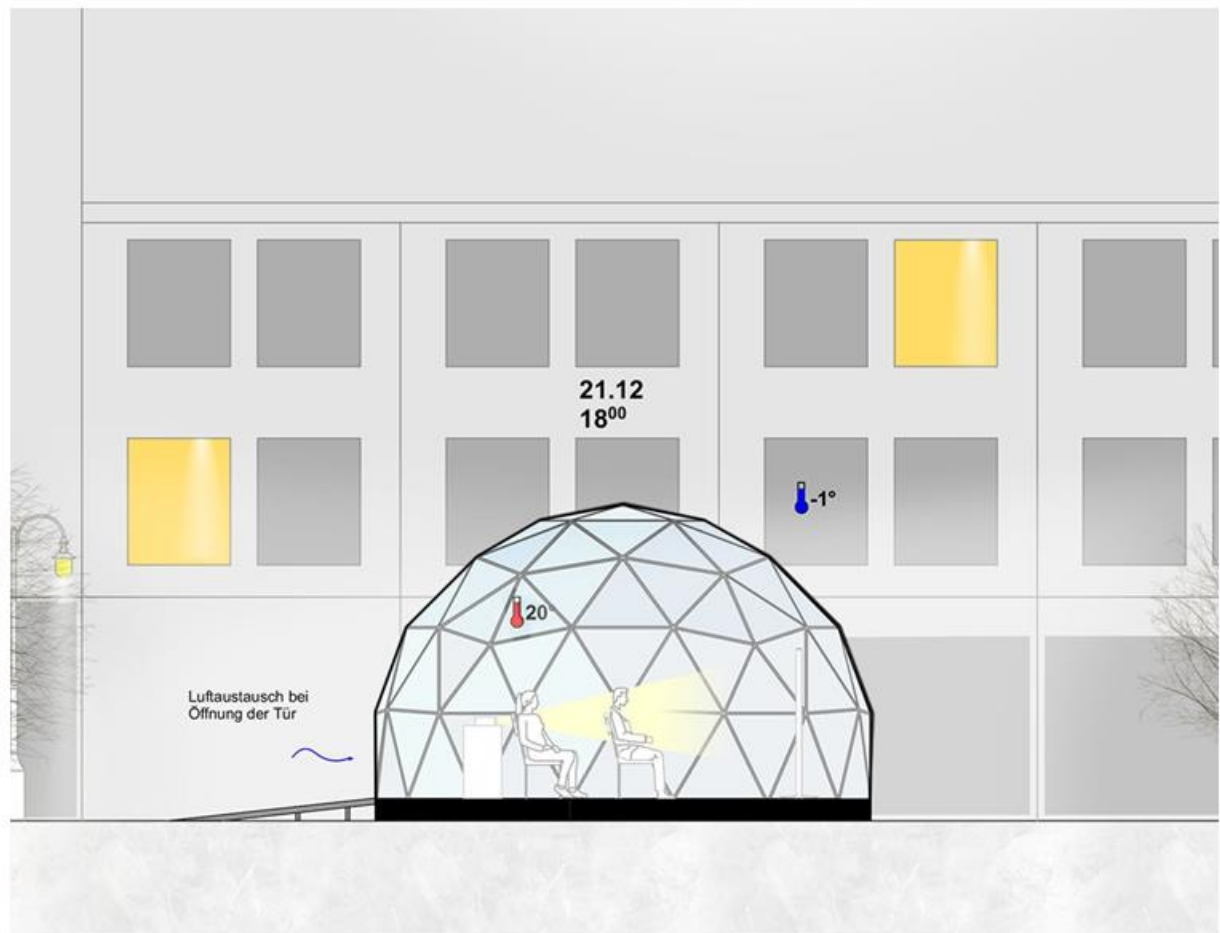
Schnitt Sonnenstudie **Dezember 12:00 Uhr**

M: 1:100



Schnitt Sonnenstudie **Dezember 15:00 Uhr**

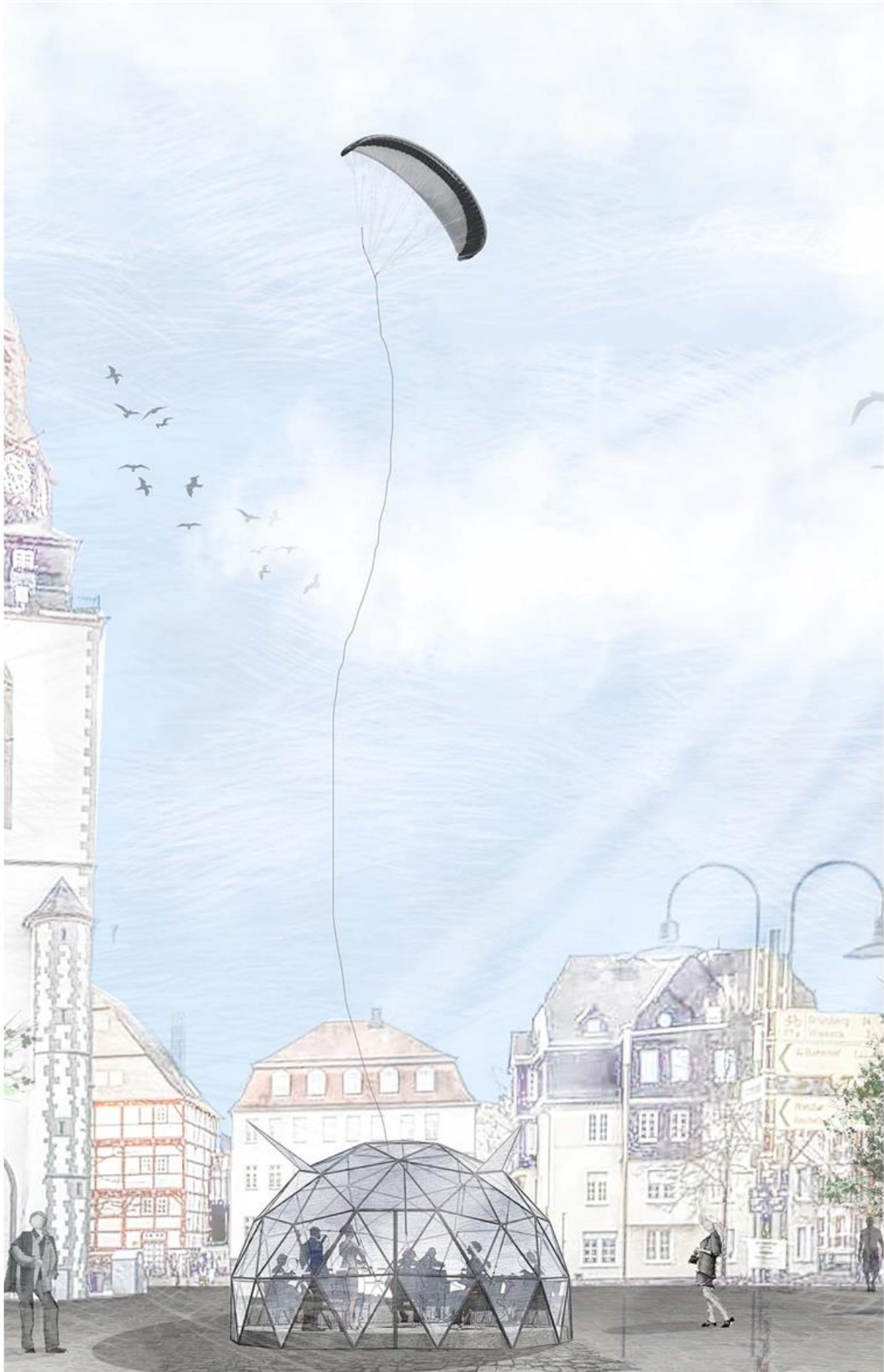
M: 1:100



Schnitt Sonnenstudie **Dezember 18:00 Uhr**

M: 1:100

## 2.5 Visualisierungen



Visualisierung Entwurf am Kirchplatz Gießen

o.M.





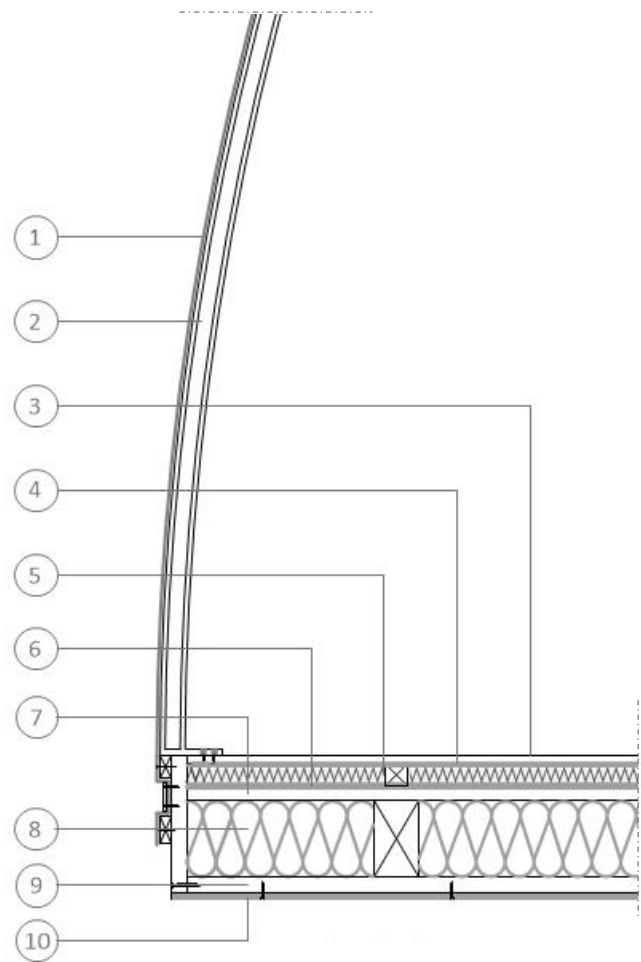
Visualisierung Entwurf am Kirchplatz Gießen

o.M.

### 3. Konstruktion und Baustoffe

#### 3.1. Konstruktion

1. Tragkonstruktion aus Carbonfaser  
d= 10mm
2. Recycelte PVC-Folie
3. Teppichboden aus Maisflocken  
d= 10mm
4. Dampfbremse Wütop
5. UK Kanthölzer, Flachsdämmung  
30 x 30 mm
6. Dampfbremse Wütop
7. Balance-Board  
d=20mm
8. Tragschicht Holzbalken Fichte,  
Flachsdämmung  
60mm x 100mm
9. Balance Board  
d=22mm
10. Gummiplatte aus recycelten  
Altreifen



Fassadenschnitt M: 1:10

### 3.2. Baustoffe

- Carbonfaser aus Algen Öl Herstellungsprozess:
  - Zerlegung von Algen Öl in Hauptbestandteile: Glycerin und freie Fettsäuren
  - Glycerin: Herstellung der nachhaltigen Carbonfasern
  - Fettsäuren: Weiterentwicklung zu biobasierten Kunststoffen
  - Verstärkung der Carbonfaser mit Granit
  - **Stabiler als Stahl, leichter als Aluminium**

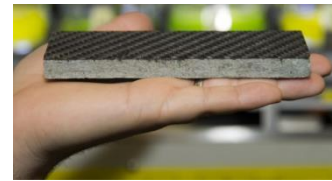


Abb.1: Aus Algen hergestellte Carbon-faser

- Teppichboden aus Maisflocken:
  - Dichte: 2480g/m<sup>2</sup>
  - Dauerhafter Schutz gegen Flecken
  - Feuchtigkeits- Wärmeregulierend
  - Umweltfreundlich
  - Gewicht gering



Abb. 2: Teppich aus Maisflocken

- Dämmung aus Flachs
  - Rohdichte: 20-80kg/m<sup>3</sup>
  - Umweltfreundlich und leicht



Abb. 3: Flachs

- Balance Board - Spannplatten aus 35 % Popcorn
  - Rohdichte: 350-400kg/m<sup>3</sup>- andere: ca. 630kg/m<sup>3</sup>
  - Spannplatten mit einer Mittelschicht aus Popcorn - Sandwichplatten
  - Extrem leichte Platten mit gleicher Festigkeit wie andere Spannplatten



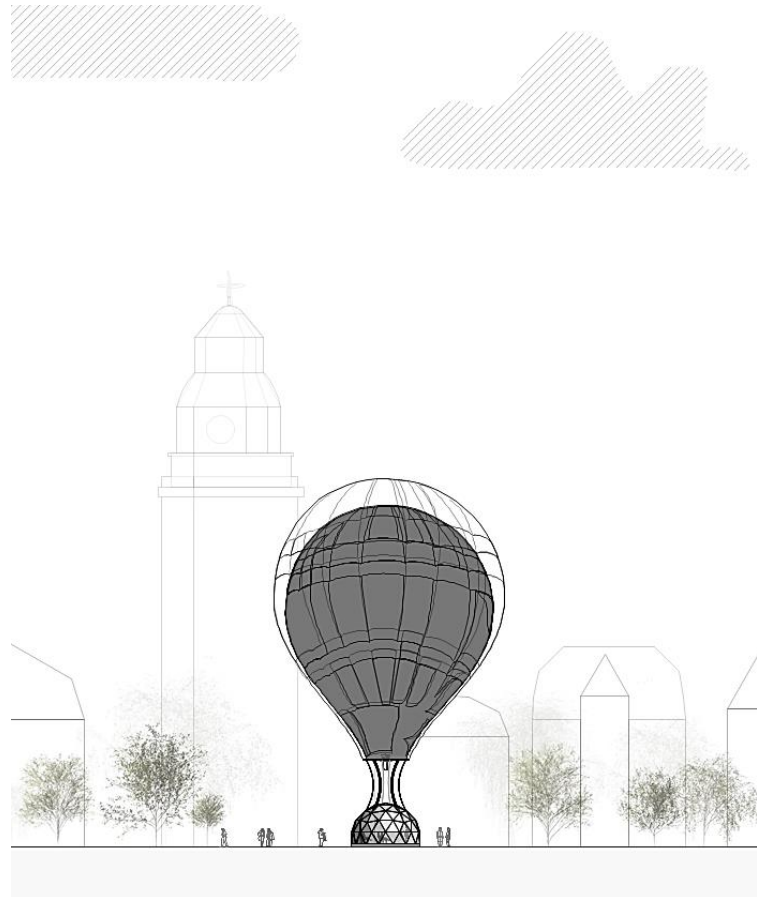
Abb.4: Popcorn Sandwichplatte

## 4. Mobilität

Die Mobilität des Gebäudes ist ein zentraler Bestandteil des Entwurfes. Der Grund dafür ist, dass möglichst viele Menschen an verschiedenen Orten erreichen werden sollen. Da ein Ortswechsel aber häufig über CO<sub>2</sub>-lastigen Individualtransport geschieht, ist nach alternativen Wegen des Transportes gesucht worden. Über die Idee eines Heißluftballons ist man schließlich zum Solarballon gekommen.

Die Idee eines Solarballons wurde von verschiedenen Wissenschaftlern und Instituten verfolgt. Besonders der Brite Dominic Michaelis hatte dabei in den 1970er Jahren Erfolg und schaffte es mit seinem Konzept, auch Menschen zu befördern.

Die Grundidee des Solarballons basiert hierbei auf zwei Hüllen, einer äußeren, transparenten Hülle sowie einer inneren schwarzen. Die innere Hülle absorbiert einen großen Teil der kurzwelligen Sonneneinstrahlung und wandelt diesen in Wärmeenergie um, wodurch sich die Luft innerhalb der inneren Hülle erwärmt. Die von der schwarzen Hülle nicht absorbierte Sonnenenergie wird durch die äußere Hülle zudem zusätzlich genutzt. Grund hierfür ist der Treibhauseffekt. Die transparente Hülle ist zwar durchlässig für die kurzwellige Sonneneinstrahlung, nicht jedoch für die von der inneren Hülle emittierten, langwellige Infrarotstrahlung, sodass diese wiederum nach innen reflektiert wird. Dadurch erhitzt sich die Luft in der äußeren Hülle ebenfalls und es kommt zum Auftrieb.



*Solarballon mit doppelter Hülle nach Dominic Michaelis*

Zur Sicherheit wird jedoch immer ein Gasbrenner mitgeführt. Dieser wird vor allem bei der Landung gebraucht, und auch das Navigieren wird damit vereinfacht. Der Brenner wird bei normalen Heißluftballons mit Propangas betrieben. Ob ein Betrieb mit Biogas ebenfalls möglich wäre, konnte nicht abschließend geklärt werden, da keine Belege für biogasbetriebene Heißluftballons existieren. Zudem entspricht der Heizwert eines Liters Propangases in etwa dem eines Kubikmeters Biogas. Zwischen beiden Größenordnungen liegt der Faktor 1.000, sodass das Mitführen eines biogasbetriebenen Brenners vermutlich bereits an der Kapazität und dem Gesamtgewicht des Ballons scheitern würde. Daher wird von einem propangasbetriebenen Brenner ausgegangen.

Für die Landung des Ballons am Boden sollte eine ausreichend große Fläche zur Verfügung stehen. Da ein Ballon nicht perfekt gesteuert werden kann, ist das Mitführen von Fangseilen denkbar. Das Prinzip dabei besteht darin, dass die Seile vom Ballonführer abgeworfen und von einer Bodenmannschaft befestigt werden, ähnlich der Vertäuung eines Schiffes am Kai. Der Ballon könnte somit besser in Position gehalten werden, was eine Landung in bebauten Gebieten erleichtern würde.

Um die Flugfähigkeit des Ballons mitsamt Gebäude zu überprüfen, muss zunächst eine Massenermittlung erfolgen. Hierbei stellt sich folgendes Problem ein: Einige der im Projekt verwendeten Baustoffe sind noch in der Entwicklungsphase, sodass es sich als schwierig erwiesen hat, exakte technische Daten zu erhalten. Somit kann bei der Massenermittlung kein Anspruch auf absolute Richtigkeit der Daten gelten. Vielmehr handelt es sich hierbei um eine valide Schätzung, um die Plausibilität der Flugfähigkeit zu überprüfen. Im Zuge der Massenermittlung konnte für die Bodenplatte ein Gewicht von etwa 870 kg ermittelt werden, die Kuppel kam auf etwa 45 kg. Für das Gesamtgebäude kann man damit von einem Leergewicht von etwa 915 kg ausgehen. Um hier einen kleinen Sicherheitswert einzubeziehen, wird im Folgenden mit 950 kg gerechnet.

Ein klassischer Heißluftballon hat bei optimalen Außenbedingungen eine Auftriebskraft von  $0,32 \text{ kg / m}^3$  Luftfüllung des Ballons. Bei einem Durchmesser der Außenhülle von 20 m kann mit einem insgesamten Ballonvolumen von etwa  $4.200 \text{ m}^3$  gerechnet werden. Somit läge die Traglast des Ballons bei etwa 1.350 kg. Abzüglich des Leergewichts des Gebäudes blieben etwa 400 kg für Ballonführer, Gasbrenner und Mobiliar. Ein Transport des Gebäudes wäre nach dieser Berechnung plausibel, müsste natürlich jedoch nochmal genauer überprüft werden.

Für das Projekt sind pro Jahr zunächst drei Ballonfahrten vorgesehen. Da das klimaschädliche Propangas vor allem bei Start und Landung benutzt wird, bieten sich längere Strecken an. Mögliche Standorte wurden somit hessenweit gesucht und mit Gießen, Frankfurt und Wiesbaden zunächst festgelegt. Zudem wurden kleinere Transporte für Ballon, Gebäude, Mobiliar, Personen etc. mit PKW oder LKW eingeplant. Auf beides wird in späteren Kapiteln zu Energiebedarf und zur Ökobilanz nochmal genauer eingegangen.

Abschließend soll gesagt sein, dass das Gebäude auch auf herkömmliche Art und Weise transportiert werden kann. Falls eine Kommune eine Ballonlandung bspw. nicht gestattet oder die Umwelteinflüsse wie z.B. Wind es nicht zulassen, könnte das Gebäude relativ leicht demontiert werden. Zusätzlich würde hier das geringe Gewicht des Gebäudes von Vorteil sein. Ein Transport über LKW oder Schiene sollte aber dennoch die Ausnahme bleiben. Neben der höheren Umweltbelastung würde vor allem auch der Überraschungseffekt und die Neugier potenzieller Nutzer um ein Vielfaches zurückgehen.

## 5. Mögliche Standorte

Kriterien für die Standortwahl:

- Gute Erreichbarkeit
- Gute ÖPNV Verbindungen
- Zentrale Lage
- Große Auf- und Abbaufäche

Standort 1: Kirchplatz Gießen

- Sehr gute ÖPNV Verbindungen-  
Markplatz
- Bahnhof gut erreichbar
- Fußwege vorhanden
- Radwege vorhanden
- Große Aufbaufäche und  
Landefäche
- Zentrale Lage



Abb. 5: Kirchplatz Gießen

Standort 2: Reisinger Anlage Wiesbaden

- Sehr gute ÖPNV
- Gegenüber vom HBF
- Gute Erreichbarkeit
- Große Aufbaufäche und  
Landefäche
- Zentrale Lage



Abb.6: Reisinger Anlage Wiesbaden

Standort 3: Gallus Anlage Frankfurt am Main

- Sehr gute ÖPNV
- Bahnhof gut erreichbar
- Fußwege vorhanden
- Radwege vorhanden
- Große Aufbaufäche und Landefäche
- Zentrale Lage



Abb. 7: Gallus Anlage Frankfurt

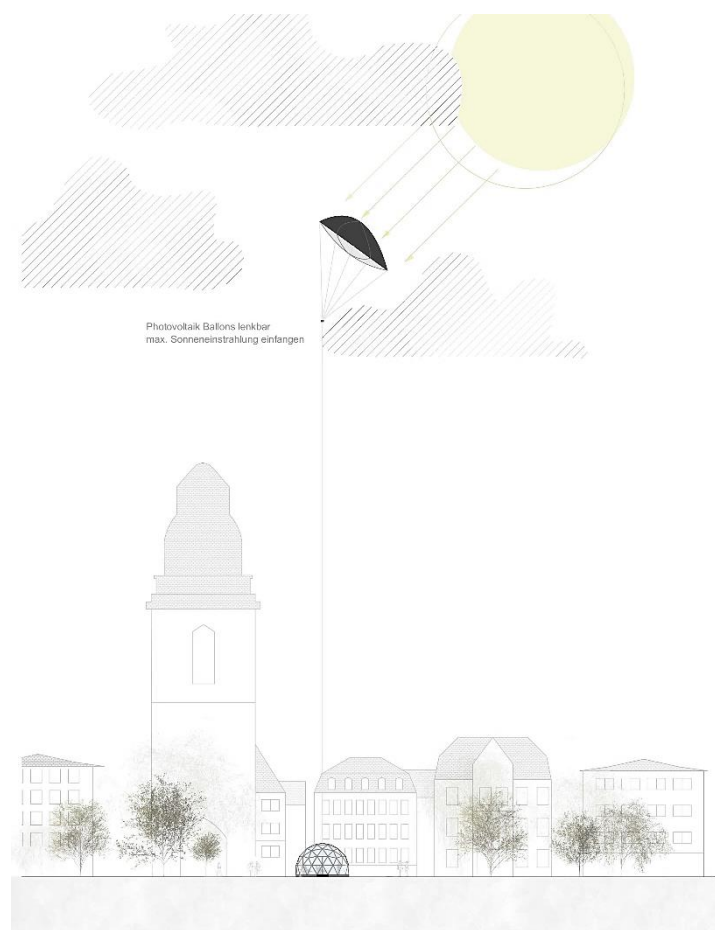
## 6. Energieversorgung

Um die Energieversorgung von Gebäude und Ballon zu berechnen, müssen zunächst einige Annahmen getroffen werden. Das Gebäude kann in seiner Funktion grundlegend als „Bürogebäude“ eingeordnet werden. Energie wird vor allem für die Stromversorgung benötigt, um Computer, Beamer und weitere technische Geräte zu betreiben. Zudem sollte eine Heizung miteingeplant werden. Diese wird als elektrische Fußbodenheizung ausgeführt.

Als Referenzwert für Bürogebäude kann man mit einem jährlichen Energiebedarf von etwa 50 kWh / m<sup>2</sup> rechnen. Vermutlich ist dieser Wert sogar etwas zu hoch, da hier einige, für herkömmliche Büros typische, technische Geräte nicht verwendet werden. Zudem fehlen weitere Gebäudetechnik wie Klima- oder Lüftungsanlagen. Trotzdem soll dieser Wert als Grundlage genommen werden. Auf das Gebäude hochgerechnet ergibt sich somit ein Energiebedarf von etwa 900 kWh pro Jahr.

Darüber hinaus wird für die Mobilität des Gebäudes ein gewisser Treibstoffbedarf nötig. Für den Betrieb eines Heißluftballons werden ca. 44 Liter Propangas in einer halben Stunde benötigt. Da der Solarballon fast ausschließlich bei der Landung Unterstützung durch den Gasbrenner benötigt, werden hier fünf Prozent des Gasverbrauches angesetzt. Wenn man pro Ballonstrecke nun etwa 60 km ansetzt und ein Ballon für 30 km etwa eine Stunde benötigt, erhält man bei drei Flügen pro Jahr einen Bedarf von ca. 26,5 Liter. Umgerechnet ergibt das einen Energieverbrauch des Propangases von etwa 175 kWh pro Jahr. Für kleinere Transporte wurden zudem etwa 20 km Strecke pro Ballonfahrt angesetzt, um kleinere Transporte zu realisieren. Mit einem Verbrauch eines LKWs von ca. 20 Liter Diesel pro 100 km ergibt sich pro Jahr ein Dieserverbrauch von etwa 12,5 Liter bzw. 125 kWh.

Um dem Nachhaltigkeitsgedanken auch im Bereich Energieversorgung gerecht zu werden, wurde das Ziel verfolgt, ein Gebäude zu entwerfen, welches sich größtenteils selbst versorgen kann. Die Lösung für diese Zielsetzung konnte in einem weiteren kleineren Ballon eines französischen Forschungsteams gefunden werden. Der sogenannte „Photovoltaic Balloon Zephyr“ ist ein mit Wasserstoff gefüllter und mit Solarzellen beschichteter Ballon, der ursprünglich für den Einsatz in Krisengebieten entworfen wurde, um die Energieversorgung dort aufrecht zu erhalten. Das Prinzip dahinter ist, dass der Ballon mit Wasserstoff gefüllt wird, um in 50 Meter Höhe zu schweben. Der Wasserstoff wird über einen Elektrolyseur am Boden hergestellt, welcher neun Liter Wasser benötigt. Da hier keine Angaben gemacht wurden, wie oft der Ballon neu befüllt werden muss, werden die neun Liter als Monatswert angesehen. Daraus folgt ein jährlicher Wasserbedarf von 108 Litern. Durch ein spezielles Steuerungssystem kann der Ballon dann perfekt zur Sonne ausgerichtet



Photovoltaic Balloon „Zephyr“

werden, sodass eine maximale Nutzung der Sonnenenergie erfolgen kann. Über ein Kabel gelangt die Energie zur Bodenstation und kann dort entweder direkt verteilt oder in Batterien gespeichert werden. Mit einem Ballon können laut Forschungsteam 15 Notfallzelte mit Energie versorgt werden. Auch wenn keine genauen Angaben zur Energiemenge gemacht werden, so kann davon ausgegangen werden, dass damit der Ballon ebenfalls ein kleines Gebäude versorgen kann. Der größere Transportballon muss selbstredend zunächst abgebaut werden, bevor der Versorgungsballon über dem Gebäude angebracht werden kann.

Zusätzlich zu dem Versorgungsballon werden auf der Kuppel weitere Flächen mit Solarfolie beklebt, welche zusätzliche Energie bereitstellt. Diese Flächen sind auch für eine Grundenergieversorgung zuständig, sollte der Ballon aus rechtlichen oder umwelttechnischen Gründen nicht über dem Gebäude schweben dürfen.

Da es vermutlich in manchen Situationen, wie schon bereits oben genannt, zu Problemen bei der autarken Energieversorgung kommen kann, wird für den Energiebedarf trotzdem ein Restwert angesetzt, der über externe Quellen eingespeist wird. Hierbei wird von einem Drittel an externer Energieversorgung ausgegangen. Das sind für Strom und Heizung 300 kWh im Jahr.

Zuletzt sollte aber auch der Fall betrachtet werden, dass bei günstigen Bedingungen eine Energieübersorgung des Gebäudes herrschen kann. In diesem Fall sollten im Gedanken der Nachhaltigkeit geprüft werden, ob eine Abgabe überschüssiger Energie an die unmittelbare Nachbarschaft möglich wäre.

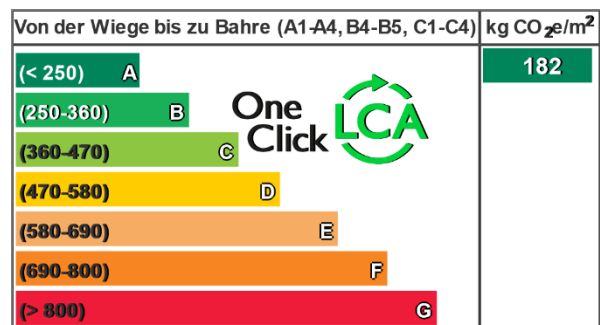


## 7. Ökobilanz

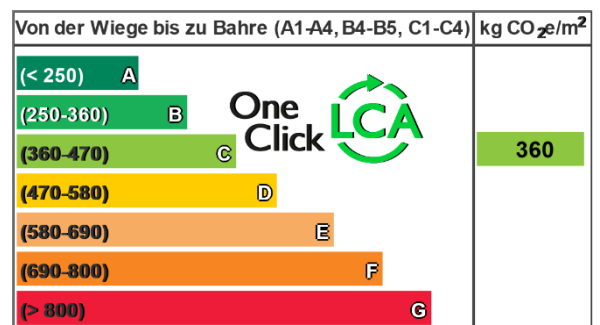
Bei der Erstellung der Ökobilanz fielen verschiedene Problematiken ins Gewicht. Zunächst musste bei der Wahl der Baustoffe darauf geachtet werden, dass sie nicht nur nachhaltig und möglichst umweltfreundlich sind, sondern auch kein allzu hohes Gewicht aufweisen, damit das Gebäude flugfähig bleibt. Darüber hinaus konnten zu verschiedenen Baustoffen kaum technische oder ökologische Daten gefunden werden. Dies liegt vor allem daran, dass sich einige der gewählten Baustoffe noch in der Entwicklungsphase oder der Erprobung befinden und somit noch nicht in der Praxis verwendet werden. Das heißt aber auch, dass noch keine Werte im Programm OneClick LCA hinterlegt wurden, sodass stattdessen alternative, ähnliche Baustoffe in der Berechnung verwendet werden mussten. Zudem ist auch der genaue Energiebedarf eines Solarballons unklar geblieben. Zwar existieren einige grundlegende Daten, die sich teilweise aus der Benutzung herkömmlicher Heißluftballons ableiten lassen, wie es sich allerdings mit dem genauen Verbrauch von Treibstoff in Form von Gas verhält, bleibt ebenso unklar wie die exakte Berechnung der Flugeigenschaften mithilfe der doppelten Hülle. Schließlich kommt als vierte Problematik die Unberechenbarkeit von Umwelteinflüssen hinzu. Diese wirken sich sowohl auf die Flugeigenschaften des Ballons sowie auf die Energiegewinnung direkt aus. Zur Berechnung konnten dementsprechend nur Annahmen getroffen werden, um ungefähre Werte zu ermitteln. Zusammenfassend kann man aus diesen Problematiken ableiten, dass eine genaue Berechnung des Energiebedarfes und damit eine genaue Berechnung der Ökobilanz unmöglich zu realisieren war. Viel mehr sind die folgenden Ergebnisse als Plausibilitätsanalyse anzusehen, um eine ungefähre Vorstellung davon zu erhalten, wie viele CO<sub>2</sub>-Äquivalente das Gebäude in seiner Lebenszeit in die Atmosphäre emittieren wird.

Zunächst soll ein Vergleich zwischen der Verwendung verschiedener Baustoffe gezogen werden. Dafür wird das Gebäude zu Vergleichszwecken einmal in herkömmlicher Bauweise mit einer Bodenplatte aus Stahlbeton mit zugehörigem Fußbodenaufbau und einer Kuppel aus Stahl- und Glaselementen betrachtet. Die anderen beiden Darstellungen zeigen das Gebäude mit einigermaßen vergleichbaren, nachhaltigen Baustoffen. Dabei wird unterschieden in eine Darstellung mit den Materialien des Solarballons und in eine Darstellung ohne diese.

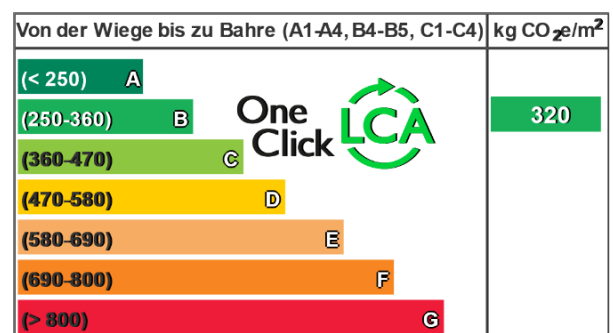
Was schnell deutlich wird, ist, dass das Gebäude mit den nachhaltigeren Baustoffen deutlich besser abschneidet als das Vergleichsobjekt aus herkömmlichen Materialien. Man kann hier einen fast doppelt so hohen Ausstoß an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bei der klassischen Bauweise erkennen. Anzumerken sei hierbei auch noch einmal, dass bei der nachhaltigen Variante nur mit vergleichbaren Baustoffen



Nachhaltige Materialien (ohne Ballonhülle)



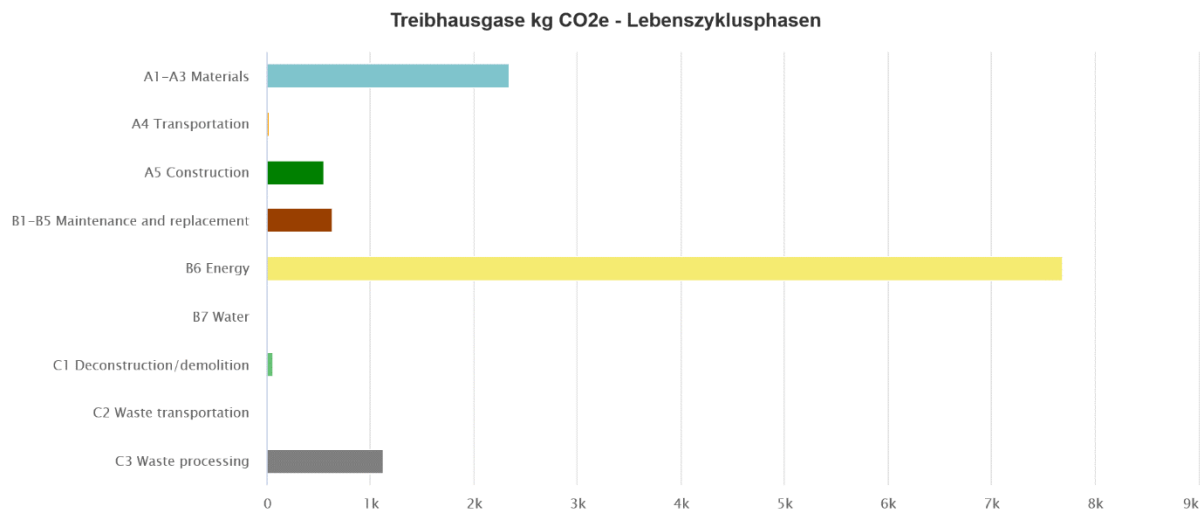
Nachhaltige Materialien (mit Ballonhülle)



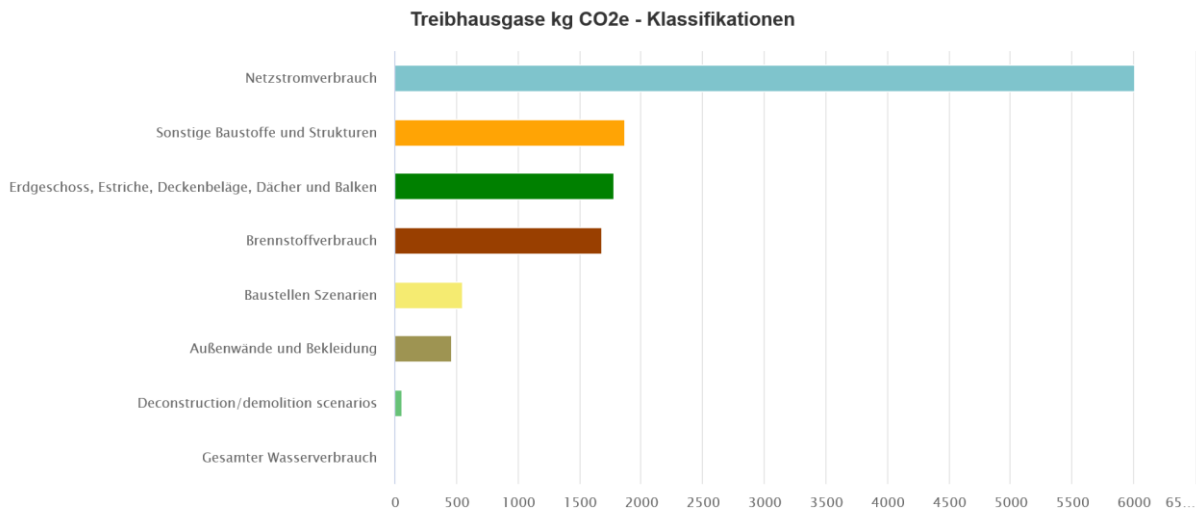
Herkömmliche Materialien

gerechnet wurde. In der Realität würde sich der Wert von 182 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup> sicherlich noch einmal verringern, da bspw. statt einer Tragstruktur der Kuppel aus Carbonfasern aus Algen, welche CO<sub>2</sub> speichern können, „nur“ recycelter Stahl verwendet werden konnte. Auch die Bauteile mit nachhaltigen Anteilen an Mais und Popcorn sowie die Gummiplatte aus Altreifen konnten bei OneClick LCA nicht eingegeben werden und mussten mit vergleichbaren Materialien ersetzt werden. Man erkennt dementsprechend weitere Einsparpotenziale. Demgegenüber steht natürlich ein vermutlich etwas höherer CO<sub>2</sub>-Ausstoß beim Transport, da noch nicht sehr viele Produktionsstandorte von neuen Technologien existieren.

Auf der anderen Seite erkennt man beim Betrachten der dritten Darstellung, bei welcher auch die Ballonhülle miteinbezogen wird, dass diese sich sehr negativ auf die Ökobilanz auswirkt. Man verdoppelt den CO<sub>2</sub>-Ausstoß hier und liegt sogar etwas über dem der herkömmlichen Bauweise. Das liegt daran, dass Ballonhüllen aus sehr widerstandsfähigem Material hergestellt werden. Dies sind in der Regel PVC- oder Polyester-Folien, welche zusätzlich noch mit Polyurethan behandelt werden. All diese Materialien haben keine gute CO<sub>2</sub>-Bilanz. Somit zahlt man einen gewissen Preis für die Mobilität des Gebäudes. Nichtsdestotrotz wird das Gebäude nach dem Bewertungsschema mit 360 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup> immer noch an der Grenze zwischen den Kategorien B und C eingeordnet.



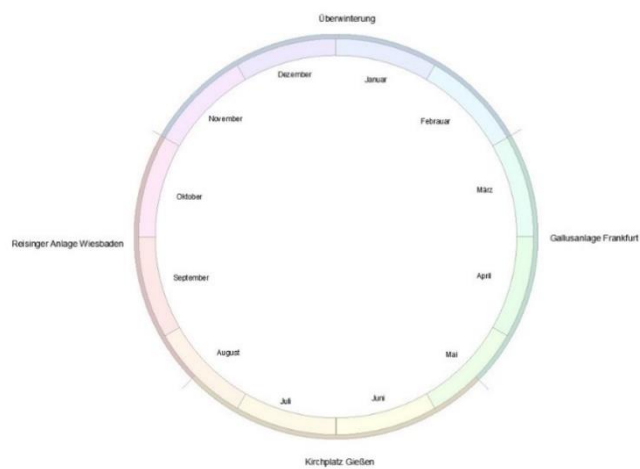
*Aufschlüsselung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach Lebenszyklusphasen*



#### Aufschlüsselung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach Einzelposten

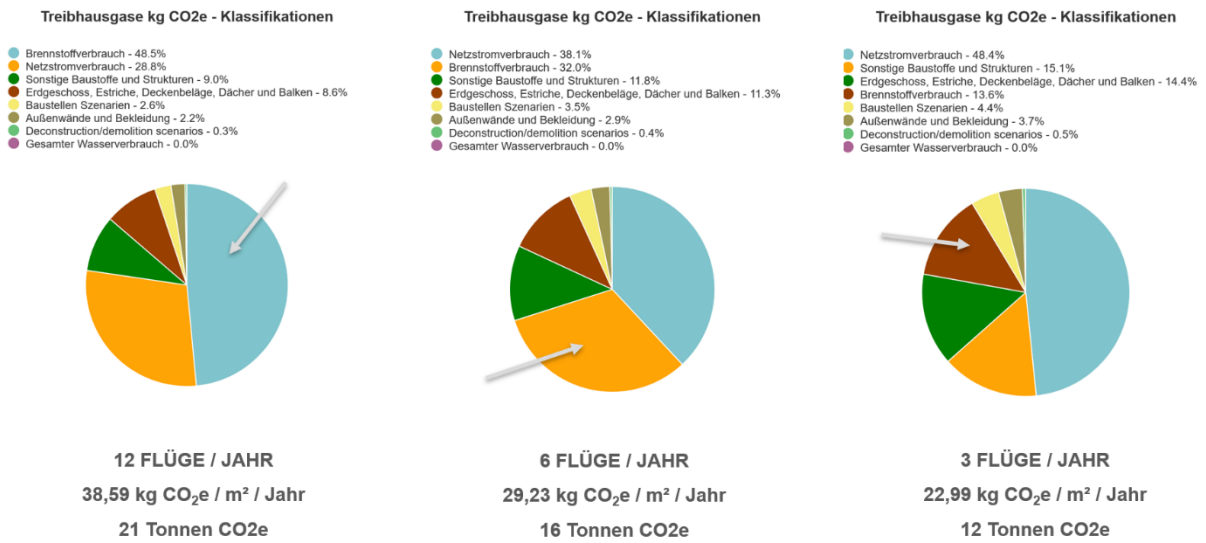
Wenn man sich in einem nächsten Schritt die Lebenszyklusphasen des Gebäudes sowie die Aufschlüsselung der einzelnen CO<sub>2</sub>-Treiber anschaut, dann wird sehr schnell klar, dass die Materialien aber gar nicht so sehr ins Gewicht fallen. Der mit Abstand weitaus größte Faktor ist ganz klar die Energie mit über 60 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudes. Obwohl die Annahme getroffen wurde, dass zwei Drittel des verbrauchten Stroms gar nicht erst angesetzt werden, da dieser autark gewonnen wird, ist der Energieverbrauch dennoch höher als der der restlichen Einflussgrößen zusammen. Mit Blick auf den benötigten Treibstoff sowie auf die angenommene Lebenszeit des Gebäudes inklusive Ballon von 30 Jahren, ist dieser Verbrauch allerdings auch erwartbar gewesen.

Interessant wird es bei einer Gegenüberstellung von verschiedenen häufigen Standortwechseln im Jahr. Die Annahme, die für dieses Projekt zunächst zugrunde liegt, sind drei größere Standortwechsel im Jahr. Hierbei würde man zunächst im Frühjahr in Frankfurt starten, im Sommer dann nach Gießen wechseln und im Herbst schließlich nach Wiesbaden fliegen. Bei diesem Szenario wäre die emittierte CO<sub>2</sub>-Menge mit etwa 1,7 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten mit gut 13 % nur an vierter Stelle der Verbrauchsposten. Vergleicht man dies aber mit sechs oder gar zwölf Standortwechseln im Jahr, so kann man anhand der Tortendiagramme sehr schnell erkennen, dass der Treibstoffverbrauch damit über 32 % auf fast 50 % ansteigen würde und damit mit weitem Abstand größter CO<sub>2</sub>-Treiber wäre. Auch die insgesamt emittierte Menge an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten würde sich von zwölf auf 21 Tonnen fast verdoppeln. In Bezug auf verschiedene Standorte lässt sich also konstatieren, dass der Standort per se irrelevant. Innerhalb von Hessen ändern sich die Umweltaspekte nicht dermaßen gravierend, dass man über den Versorgungsballon in manchen Bereichen mehr Energie gewinnen kann als anderswo. Auch die Entfernung verschiedener Standorte spielt maximal eine untergeordnete Rolle. Was jedoch eine sehr große Rolle spielt ist die Häufigkeit der Standortwechsel. Dies lässt sich damit begründen, dass der



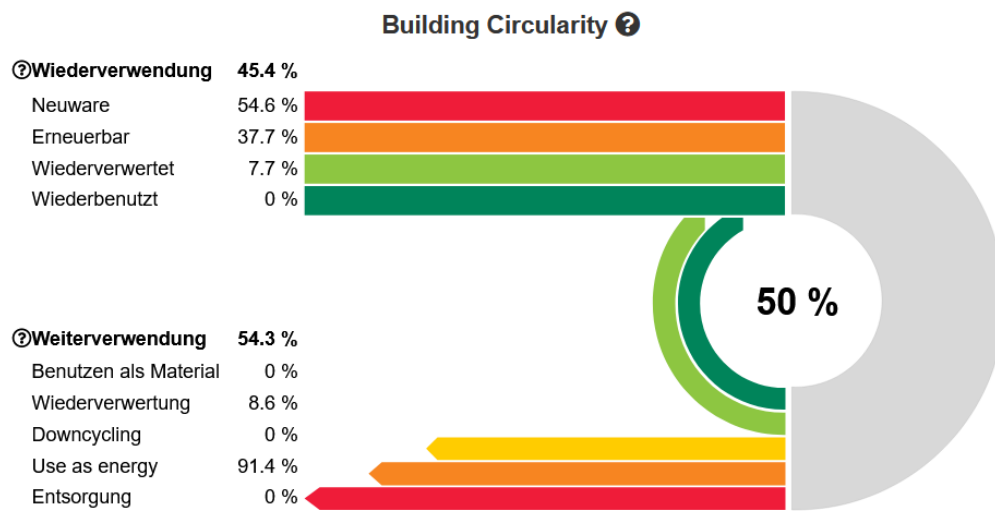
Standortwahl in einem Jahr bei drei Standortwechseln

Gasbrenner des Ballons zwar kaum während der Flugphase verwendet werden muss, jedoch vor allem bei der Landung.



Vergleich des Brennstoffverbrauchs und der gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei verschieden häufigen Standortwechseln

Als letzter Punkt wird die Building Circularity kurz betrachtet. Dieser Punkt ist allerdings auch derjenige, der am stärksten von der Realität abweicht. Dies liegt daran, dass es hier vor allem um die Wiederverwertung der Baustoffe geht. Da teilweise aber aus bereits oben genannten Gründen andere Baustoffe ausgewählt werden mussten, können diese Kenngrößen deutlich voneinander abweichen. Nichtsdestotrotz kann man in der Darstellung die Tendenz erkennen, dass es sowohl bei der Herstellung des Gebäudes wie auch bei dessen Rückbau zu einem Wiederverwertungsgrad von jeweils etwa 50 % kommt. Wie dieser jedoch bei Berücksichtigung der tatsächlichen Baustoffe aussehen würde, bleibt unklar. Ein ähnliches Ergebnis wäre allerdings zu vermuten.



Building Circularity und Wiederverwertung der Materialien

## 8. DGNB Kriterien

### 8.1. ECO 2.1 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit

Das Gebäude kann beliebig möbliert werden, es kann sowohl ein Beamer aufgestellt werden und Projektionen gezeigt werden als auch Pinnwände zur Materialdarstellung bereitgestellt oder Gesprächskreise gebildet werden.

Wenn es nicht als Veranstaltungsort verwendet wird, kann das Gebäude genauso gut als Gewächshaus oder als kleines Gästehaus benutzt werden. Auch die Umwandlung in ein Café ist vorstellbar.

### 8.2. TEC 1.6 Rückbau und Recyclingfreundlichkeit

Die Veranstaltungsunterkunft kann sehr einfach auseinander genommen werden, die Verbindungen sind alle geschraubt, so dass die einzelnen Materialien alleine oder im Verbund wiederverwertet werden können.

Das Gebäude besteht teilweise aus recycelten oder wiederverwerteten Materialien: die Zeitungsdämmung und die Recycling PVC-Folie

### 8.3. ENV2.3 Flächeninanspruchnahme

Für unser Projekt werden nur vorhandene Plätze gewählt, dadurch findet keine neue Flächenversiegelung statt. Die Orte werden nur zeitweise besetzt und können danach wie gewohnt genutzt werden.

## 9. Quellen

<https://www.umweltdialog.de/de/umwelt/energiewende/2020/Heisse-Luft-die-wandlungsfahige-Energiequelle.php>

<https://www.mpg.de/1149505/thermoelektrika>

<https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/elektro-warmwasser-und-heizsysteme/elektroheizung/duennbettheizung.html>

[https://www.energieinstitut.net/de/system/files/0903\\_final\\_dienstleistungsgebaude\\_20120530.pdf](https://www.energieinstitut.net/de/system/files/0903_final_dienstleistungsgebaude_20120530.pdf)

<https://www.net4energy.com/de-de/energie/photovoltaik-leistung-pro-m2>

<https://agrarpplus.at/heizwerte-aequivalente.html>

<https://wiki.edu.vn/wiki16/2020/12/31/solarballon-wikipedia/>

[https://de.wikibrief.org/wiki/Dominic\\_Michaelis](https://de.wikibrief.org/wiki/Dominic_Michaelis)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamischer\\_Auftrieb](https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamischer_Auftrieb)

<https://www.leifiphysik.de/waermelehre/allgemeines-gasgesetz/ausblick/heissluftballon-physik>

<https://www.ballonreisen.de/ablauf/funktionsweise-heissluftballon/>

<https://www.wiwo.de/technologie/green/strom-aus-ballons-energie-fuer-katastrophen-gebiete/13553328.html>

<https://www.smithsonianmag.com/innovation/photovoltaic-balloon-could-bring-electricity-to-disaster-zones-180953690/>

<https://www.energie-bau.at/bauen-sanieren/3095-algen-leichter-als-aluminium-stabiler-als-stahl>

<https://www.europeanscientist.com/de/umwelt/carbon-aus-algen-ein-baustoff-der-die-umwelt-schuetzt/>

<https://www.fibr.tech/>

<https://www.leichtbauwelt.de/vorbild-natur-gebaeude-aus-faserverbundstrukturen/>

<https://www.icd.uni-stuttgart.de/de/projekte/maison-fibre/>

<https://produkte.joka.de/Teppich/Teppichboden-ELYSEE-400cm-Deluxe-Balance-22-84387.html>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaser#cite\\_note-cit-2](https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaser#cite_note-cit-2)

[https://www.r-g.de/wiki/Kohlefasern\\_\(Carbon\)#.C3.96kologie](https://www.r-g.de/wiki/Kohlefasern_(Carbon)#.C3.96kologie)

[https://citizensustainable.com/de/carbon-nachhaltig/#Ist\\_die\\_Herstellung\\_von\\_Carbon\\_nachhaltig](https://citizensustainable.com/de/carbon-nachhaltig/#Ist_die_Herstellung_von_Carbon_nachhaltig)

<https://www.department.ch.tum.de/wssb/forschung/projekte/greencarbon/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>

[https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/Klimaschutz/Toolbox/102021\\_Studie-Benchmarks-fuer-die-Treibhausgasemissionen-der-Gebaeudekonstruktion.pdf](https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/Klimaschutz/Toolbox/102021_Studie-Benchmarks-fuer-die-Treibhausgasemissionen-der-Gebaeudekonstruktion.pdf)

[2013\\_02\\_dämmstoffe.pdf](2013_02_dämmstoffe.pdf) (igbauernhaus.de)

[Nicht knabbern: Mit Popcorn dämmen - DETAIL - Magazin für Architektur + Baudetail](#)

[Bauforschung: Dämmmaterial und Baustoffe aus Pilzen | Haustec](#)

[Wirtschaftlichkeit \(architekt-riebler.at\)](#)

[Spanplatte aus Popcorn ist leicht und spart Ressourcen | enbausa.de](#)

[Neue Baustoffe 10 mal härter als Stahl, 20 mal leichter, fester und besser – Immobilien Redaktion \(immobilien-redaktion.com\)](#)

[Fünf Baustoffe für die Zukunft \(merkur.de\)](http://merkur.de)

[Green Carbon – Nachhaltige Carbonfaser-Bauteile aus Algen – FONA](#)

[Carbon aus Algen: Ein Baustoff, der die Umwelt schützt. \(europeanscientist.com\)](http://europeanscientist.com)

[https://www.energiwendebauen.de/projekt/de/mit\\_rohrkolben\\_nachhaltig\\_und\\_effektiv\\_daemmen](https://www.energiwendebauen.de/projekt/de/mit_rohrkolben_nachhaltig_und_effektiv_daemmen)

<https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/naturbaustoff-platten-rohrkolben-waermedaemmung/>

<https://www.oekologisch-bauen.info/news/naturdaemmstoffe/popcorn-als-daemmstoff-und-fuer-den-moebelbau-207.html>

<https://www.enbausa.de/daemmung/aktuelles/artikel/spanplatte-aus-popcorn-ist-leicht-und-spart-ressourcen-4828.html>

### Abbildungsverzeichnis:

- Abbildung 1: [Green Carbon – Nachhaltige Carbonfaser-Bauteile aus Algen – FONA](#)
- Abbildung 2: [Teppich, Popcorn, grau & weiß | car möbel \(car-moebel.de\)](#)
- Abbildung 3:  
[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.blumen-heller.com%2Fflachs-gebleicht%2F&psig=AOvVaw0IUNi85TOJB00LxoyFVvPZ&ust=1645743907585000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCPDUz\\_r3lvYCFQAAAAAdAAAAABAW](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.blumen-heller.com%2Fflachs-gebleicht%2F&psig=AOvVaw0IUNi85TOJB00LxoyFVvPZ&ust=1645743907585000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCPDUz_r3lvYCFQAAAAAdAAAAABAW)
- Abbildung 4:  
[Spanplatte aus Popcorn ist leicht und spart Ressourcen | enbausa.de](#)
- Abbildung 5:  
[Stadtkirchenturm am Kirchenplatz in Gießen : Radtouren und Radwege | komoot](#)
- Abbildung 6:  
[https://cdn.meine-vm.de/Q\\_JbRvehgB4O22dlddriLnjCgKs=/650x350/smart/https%3A%2F%2Fwww.allgemeine-zeitung.de%2Ffm%2F819%2FCON\\_563381721\\_30917\\_M.jpg](https://cdn.meine-vm.de/Q_JbRvehgB4O22dlddriLnjCgKs=/650x350/smart/https%3A%2F%2Fwww.allgemeine-zeitung.de%2Ffm%2F819%2FCON_563381721_30917_M.jpg)
- Abbildung 7:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/09/Frankfurt\\_Gallusanlage\\_S%C3%BCd.20130603.jpg/800px-Frankfurt\\_Gallusanlage\\_S%C3%BCd.20130603.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/09/Frankfurt_Gallusanlage_S%C3%BCd.20130603.jpg/800px-Frankfurt_Gallusanlage_S%C3%BCd.20130603.jpg)