

„Beispielhafte Umsetzung einer energetisch aktiven und wandelbaren Klimahülle zur Sanierung der Kita Tabaluga in Blankenfelde-Mahlow“

Abschlussbericht des Forschungsprojektes

(AZ 31535/02-25) Berlin, 12.12.2025

Verfasser: Dipl.-Ing. Dirk Peissl

Technische Universität Berlin
Institut für Bauingenieurwesen
Fachgebiet Entwerfen u. Konstruieren - Massivbau

Projektförderung

DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Dipl.-Ing. Sabine Djahanschah

Projektpartner

sbp sonne gmbh
Dr. Gerhard Weinrebe, Vanessa Lippert, Fabian Gross, Alf Oschatz

Technische Universität Berlin
FG Entwerfen u. Konstruieren - Massivbau
Prof. Dr. Sc. techn. Mike Schlaich, Dirk Peissl, Sofia Moissiadis

Mollakustik Ingenieure für Akustik
Rainer Gehret, Christoph Böhm

Gemeinde Blankenfelde-Mahlow
Ortwin Baier (Bürgermeister), M. Dzikowski

Zusammenfassung

Für die künftig durch Fluglärm hochbelasteten Kitastandorte in der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow bei Berlin wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes Konzepte und eine explizite Objektplanung des Prototyps einer einerseits vor Lärm schützenden, sowie energetisch aktiven und wandelbaren Klimahülle entwickelt.

Ziel dieses Folgeprojektes war das bereits bestehende Wissen aus der Forschungsarbeit *Klimahüllen für Gewerbegebiete* [1] und die im ersten Teil (AZ 31535/01) erarbeiteten Erkenntnisse über Klimahüllen [3] allgemein und im spezifischen Kontext zu vertiefen, weiterzuentwickeln und für die Objektplanung und Realisierung der Klimahülle für eine fluglärmbelastete Kita in Blankenfelde-Mahlow einzusetzen.

Im Vergleich zur ursprünglichen Fassung des Forschungsantrages gab es aufgrund der Situation mit dem nun in Betrieb gegangenen BER-Flughafens und vor allem wegen des stark steigenden Bedarfs an Kita-Plätzen den dringenden Bedarf eines zusätzlichen Kita-Neubaus in der Gemeinde des Projektpartners Blankenfelde-Mahlow.

Daher entschied sich die Gemeindevertretung Blankenfelde-Mahlow den Neubau einer Kindertagesstätte an der Richard-Wagner-Chaussee mit dem im Forschungsprojekt für den Standort Kita Tabaluga entwickelten Konzept einer Klima- und Lärmschutzhülle dieses Forschungsprojektes umzusetzen. Dies wurde von der Fördermittelgeberin befürwortet und bestätigt.

Hierzu wurde der Klimahüllenentwurf für den Standort der Bestands-Kita „Tabaluga“ gemäß den Arbeitspaketen in allen Bereichen - Architektur, Tragwerk, Energie und Lärmschutz- kontinuierlich weiter optimiert und schließlich gezielt an die neuen Gegebenheiten der Neubauvariante der Kita mit Klimahülle angepasst und projektiert.

Die im Vergleich zum Vorgängerprojekt „Variante Bestand“ weiterentwickelte „Variante Neubau“ zeichnet sich durch ein weiter verbessertes Zusammenspiel der einzelnen Themengebiete, - Schallschutz und Innenakustikkonzept, Klima- und gebäudetechnisches Konzept, sowie Tragwerks- und baukonstruktives Konzept aus.

Die Forschungsergebnisse und der gemeinsam mit den Projektpartnern erarbeitete Klimahüllenvorentwurf, diente schließlich der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow als Entscheidungsgrundlage für die weitere Ausschreibung und Beauftragung der Planung zur Realisierung der Klimahülle.

Basierend auf den in diesem Forschungsprojekt erfolgreich und vollumfänglich erarbeiteten Projekt- und Forschungsergebnissen wurde von der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow die Objektplanung der Kita mit Klimahülle an eine ARGE aus Architekten, Tragwerksplanern und Klimaingenieuren und Akustikingenieuren beauftragt. Um zu gewährleisten, dass die im Rahmen dieses DBU-geförderten Forschungsprojekts gewonnenen Erkenntnisse und Forschungsergebnisse zum großen Teil berücksichtigt und sinnvoll integriert werden, haben die Kooperationspartner des Forschungsprojektes die ARGE bei der Planung des Realisierungsprojektes begleitet und die Ergebnisse in diesem Abschlussbericht bewertet.

Insgesamt konnte das ganzheitliche Konzept einer energetisch aktiven und wandelbaren Klimahülle im Vergleich zum Vorgängerprojekt weiterentwickelt und in eine konkrete Objektplanung übersetzt werden. Die energie- und bautechnische Effizienz der neu entwickelten Klimahülle für eine Kita wurde durch eine Vielzahl von Energie-, Tragwerks- und Klimasimulationen erfolgreich belegt.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation des Projektes.....	1
2	Themenbereiche, Zielstellungen und Weiterentwicklungen.....	4
2.1	Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit.....	5
2.2	Energie und Klimatechnik.....	7
2.3	Schallschutz und Raumakustik.....	8
3	Vorentwurf und Ergebnisse Forschungsprojekt Bestandsvariante.....	10
3.1	Weiterentwicklung Variante Klimahülle Kita Tabaluga.....	10
4	Vorentwurf und Ergebnisse Forschungsprojekt Neubauvariante.....	19
4.1	Einordnung und Varianten.....	19
4.2	Entwurfsbeschreibung finale Variante.....	23
4.2.1	Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit.....	27
4.2.2	Energie und Klimatechnik	32
4.2.3	Schallschutz und Raumakustik	35
5	Resumé und Ausblick	36
6	Abbildungsverzeichnis.....	40
7	Literaturverzeichnis.....	42
8	Anhang (in separater Datei)	
	A1 Anhang zum Themenbereich: Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit	
	A2 Anhang zum Themenbereich: Energie und Klimatechnik	
	A3 Anhang zum Themenbereich: Schallschutz und Raumakustik	
	A4 Anhang (Planungs-ARGE): Auszug Ergebnisse Planungsprojekt	

1 Ausgangssituation und Methodik des Projektes

Die Gemeinde Blankenfelde-Mahlow liegt südlich von Berlin in unmittelbarer Nachbarschaft des Großflughafen Berlin-Brandenburg (BER), welcher am 31. Oktober 2020 in Betrieb ging. Ausgehend von den im ersten Teil des Forschungsprojektes „Entwicklung eines Prototyps für energetisch aktive und wandelbare Klimahüllen für eine Kita in Blankenfelde-Mahlow“ erzielten Ergebnissen, welche in enger Zusammenarbeit zwischen Planern, Forschern und der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow in einen Vorentwurf für die Umsetzung eines Klimahüllen-Prototyps zur Überdachung der Bestandskita mündeten. Hierbei wurden vor allem die Aspekte „Wandelbarkeit“, „Energiegewinnung“ sowie „Lärmschutz“ intensiv untersucht.

Hierbei wurde nach der Entwicklung diverser Variantenuntersuchungen ein von der Gemeinde und allen Kooperationspartnern befürworteter und zur Realisierung empfohlener Vorentwurf einer Klimahülle über die Kita Tabaluga entwickelt. Dieser umfasste ein kombiniertes und integratives Planungskonzept für Tragwerk, Energie und Lärmschutz. In Rahmen dieses Folgeprojektes wurde nun das bereits bestehende und im ersten Teil erarbeitete Wissen im spezifischen Kontext vertieft, weiterentwickelt und für die Objektplanung und Realisierung der Klimahülle in Projektphase 1 am Standort der Kita Tabaluga (Abb. 1) und nach einem weiteren Gemeinderatsbeschluss in einer Projektphase 2 für den Neubau einer Kita mit Klimahülle in der Richard-Wagner-Chausée (Abb. 2) in Blankenfelde-Mahlow eingesetzt.



Abb.1 Luftbild der Kita Tabaluga [2]



Abb.2 Luftbild Klimahülle für Kita Neubau

Der Anspruch des Forschungsprojektes war hierbei die zielgerichtete Weiterentwicklung des integrativen Entwurfsansatzes, der sowohl die klima- als auch schallschutztechnischen Anforderungen an das Gebäude und seine Nutzung nicht nur erfüllt, sondern darüber hinaus sowohl städtebaulich, räumlich-funktional, konstruktiv und energietechnisch durch innovative Entwicklungen eines ganzheitlichen Klimahüllenkonzeptes neue Maßstäbe im Bereich einer nachhaltigen Bauweise setzt und somit auch als Vorbild für weitere Anwendungen im Bauwesen dienen kann. Gemeinsames Ziel aller Planungspartner in diesem Folgeprojekt war hierbei die qualitative und planerische Weiterentwicklung eines integrativen Entwurfes mit konkreten Forschungsergebnissen als Basis für die folgende Objektplanung. Hierfür wurde schließlich von der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow die Objektplanung des Neubaus einer Kita mit Klimahülle an eine ARGE aus Architekten, Tragwerksplanern und Klimaingenieuren und Akustikingenieuren beauftragt.

Beschreibung des Vorentwurfes (AZ 31535/01) als Basis des Projektes:

Für eine sinnvolle und effektive- sowohl räumlich- funktional, als auch klimatechnisch - Nutzung der Klimahülle sieht der Vorentwurf vor das Bestandsdach der Kita zu entfernen. Die Klimahülle spannt mit einer lichten Raumhöhe von 6,50 m über die Freiflächen und den neu entstandenen Dachgarten. Die städtebauliche Einbindung der Klimahülle zeichnet sich durch eine sensible und geradlinige Anordnung der rechteckigen und gerichteten Kubatur der Klimahülle im städtischen Kontext, welcher durch die Bebauung mit Einfamilienhäusern geprägt ist, aus. Durch den Rückbau des Daches und die Schaffung eines neuen Dachgartens entsteht ein Mehrwert für die Kita, da etwa 730 qm Fläche mehr für die Kinder zur Verfügung stehen. Dieser neu geschaffene Raum dient den Kindern der Kita als neu gewonnene Spielfläche und bietet darüber hinaus die Möglichkeit dem Dachtragwerk der Klimahülle sehr nahe zu sein, um die Bewegungsmechanismen von Teilen der Dachfläche, sowie des beweglichen Sonnenschutzes aus nächster Nähe zu beobachten.



Abb.3 Kita- neuer Dachgarten [3]



Abb.4 Klimahülle im Stadtgefüge [3]

Insgesamt überspannt die Klimahülle eine Fläche von ca. 1.950m² und hat ein Raumvolumen von ca. 12.600 m³. Die wesentlichen Bestandteile der Klimahülle sind ein außenliegendes Primärtragwerk aus Stahlfachwerkrahmen im Abstand von je 6,5 m, einer innenliegenden, transparenten Gebäudehülle aus Glas, sowie ein in der äußersten Schicht befindlicher, wandelbarer Sonnenschutz. Der Innenraum der Klimahülle zeichnet sich durch den Einsatz von viel Vegetation aus, die sowohl für eine Reduzierung des Innenschallpegels als auch für ein angenehmes und im Sommer gekühltes Raumklima sorgt. Auch ohne aufwändige Haustechnik, lediglich ein Eisspeicher in Kombination mit Photovoltaik und einer Wärmepumpe kommen zum Einsatz- wird durch die semipermeabel ausgeführten Fassaden und Dachelemente für eine stets gute Durchlüftung und gleichzeitig einen sehr guten Schallschutz gesorgt.

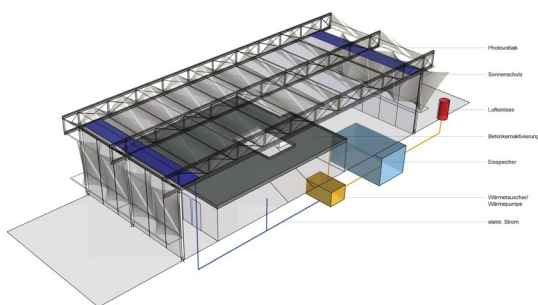


Abb.5 Schematisches Klimakonzept [3]

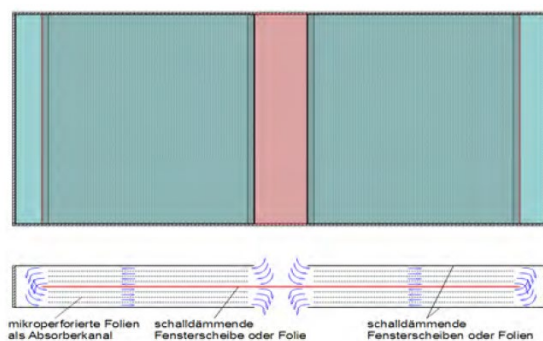


Abb.6 Schema eines Lärmschutzfensters [3]

Beschreibung des Vorgehens und Methodik des Projektes (AZ 31535/02-25):

In beiden Projektphasen stand sowohl die qualitative und planerische Weiterentwicklung des Vorentwurfes des Projektes (AZ 31535/01) im Fokus. Die hierauf aufbauende Evaluation und Analyse der hierfür relevanten Forschungsaspekte der Themen Tragwerk, Energie und Schallschutz war die Basis für die Entwicklung eines präzisen integrativen Entwurfes sowohl für die Klimahülle in Projektphase 1 am Standort der Kita Tabaluga (Abb.1) und in einem weiteren Iterationsschritt für den Neubau einer Kita mit Klimahülle in der Richard-Wagner-Chaussee (Abb. 2) in Projektphase 2 in Blankenfelde-Mahlow.



Abb.7 Innenraumperspektive Vorentwurf Projekt AZ 31535/01-25 [3]

Nach Erstellung und Erarbeitung der vollständigen Forschungs- und Planungsergebnisse (siehe Kapitel 4), sowohl der Projektphase 1 als auch Projektphase 2 durch die Kooperationspartner dieses Forschungsprojektes, wurde die Beauftragung einer ARGE zur Objektplanung mit dem Ziel der Realisierung der Klimahülle für den Kita-Neubau in der Richard-Wagner-Chaussee im Plangebiet M 11 des Musikerviertels durch die Gemeindevertretung Blankenfelde-Mahlow beschlossen und beauftragt.



Abb.8 Innenperspektive Projektphase 1



Abb.9 Innenperspektive Projektphase 2

Diese Planung der ARGE bestehend aus Architekten, Tragwerksplanern und Klimaingenieuren und Akustikingenieuren wurde von den Kooperationspartnern des Forschungsprojektes begleitet und die Ergebnisse schließlich im Kapitel 5 analysiert und bewertet.



Abb.10 Innenperspektive Planungsprojekt ARGE [Anhang A4]

2 Themenbereiche, Zielstellungen und Weiterentwicklungen

Basierend auf den Ergebnissen des ersten Teils des Forschungsprojektes wurden die drei Haupt-Themenbereiche Tragwerk, Energie und Schallschutz als Basis für die geplante Realisierung der Klimahülle in einem interdisziplinären als auch integrativen Planungsprozess weiter vertieft untersucht und zielgerichtet weiterbearbeitet und erforscht.

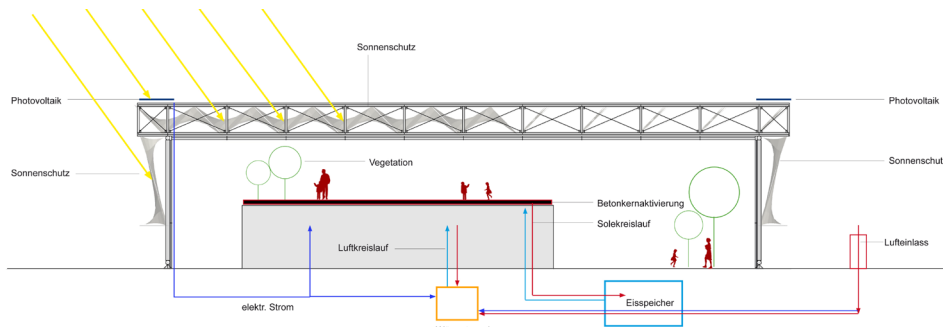


Abb.11 Klimakzept - schematischer Schnitt Sommersituation (AZ 31535/01-25) [3]

Die Klimahülle funktioniert als ein sensibel auf die jeweiligen Gebäudeteile abgestimmter Organismus, welcher aus einem integrativen Tragwerks-, Energie und Schallschutzkonzept besteht. Die multiplen Anforderungen an das Innenklima- insbesondere die thermische Behaglichkeit und den Schallschutz in der Klimahülle- bedingen eine präzise Abstimmung und Steuerung der einzelnen Komponenten und Gewerke untereinander.

Durch die in diesem Projekt weiterentwickelte Klimahülle und eine geeignete Auslegung der technischen Gebäudeausstattung (Solarkollektoren, PV, Eisspeicher, Betonkernaktivierung) sowie wandelbaren Tragwerkselementen zur Verschattung und Lüftung würde sowohl die Kita Tabaluga im Bestand als auch die Klimahülle für den Kita-Neubau in der Richard-Wagner Chaussee zum Niedrigenergiehaus mit minimalem Heizenergiebedarf. Hierbei funktioniert die Klimahülle- nicht nur bei besonderen Wettersituationen -wie extremer Hitze und Kälte- als Klimapuffer, sondern sie reguliert durch eine genau aufeinander abgestimmte Steuerung der einzelnen Komponenten auch den Luftaustausch und die Wärmekopplung zwischen dem Kita-Innengebäuden und dem neu geschaffenen Luftraum unter der Hülle. Zudem sorgt die Klimahülle für eine deutliche Reduktion des Fluglärms im Innenraum, so dass die zulässigen Grenzwerte im gesamten Innenraum künftig nicht überschritten werden.

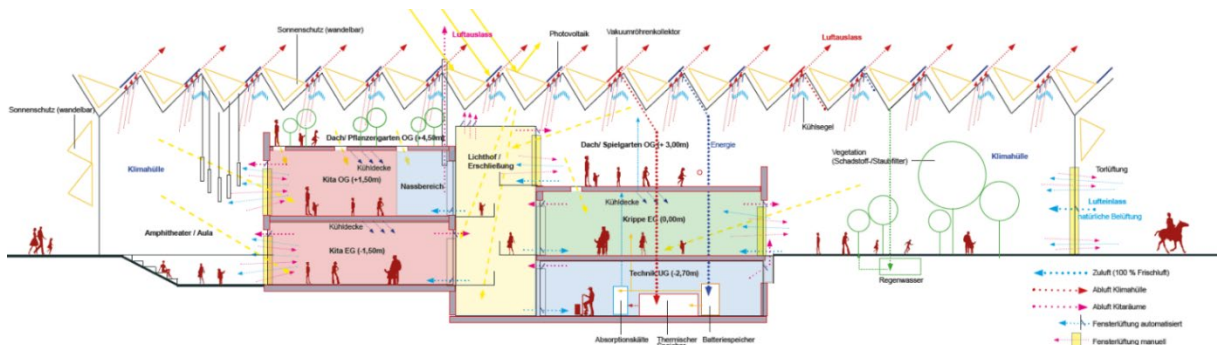


Abb.12 Klimakzept Projektphase 2 - schematischer Schnitt Sommer (AZ 31535/02-25)

2.1 Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit

Im Rahmen des ersten Teils des Forschungsprojektes (AZ 31535/01) wurde aus vielen untersuchten Varianten für eine Klimahülle ein Tragwerksvorentwurf ausgewählt und vorbemessen. Außerdem wurden Studien zu wandelbaren Tragwerkskomponenten wie öffnenbaren Fassaden- und Dachelementen, sowie einer wandelbaren außenliegenden Verschattung entwickelt und deren Tragwerke analysiert. Für eine sowohl räumlich-funktionale, als auch klimatechnisch sinnvolle und effektive Nutzung der Klimahülle wird das Bestandsdach der Kita entfernt. Die Klimahülle spannt mit einer lichten Raumhöhe von 6,50 m über die Freiflächen und den neu entstandenen Dachgarten.

Insgesamt überspannt die Klimahülle eine Fläche von ca. 1.950m² und hat ein Raumvolumen von ca. 12.600 m³.

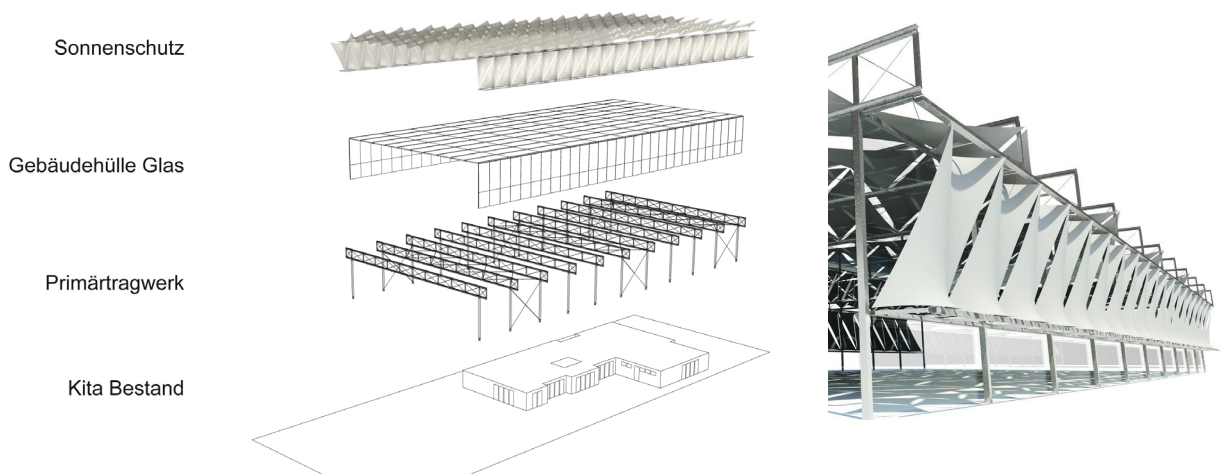


Abb.13 Bestandteile der Klimahülle (AZ 31535/01) [3] (links)

Abb.14 Rendering Fassadenverschattung [3] (rechts)

Das Haupttragwerk besteht aus einem Fachwerkträger, der auf 2 Stützen im Abstand von 30m gelagert ist und rechts und links jeweils 1,5m über die Stützen auskragt. Die Stützen sind biegesteif an den Träger angeschlossen.

Das Sekundärtragwerk besteht aus Dachpfetten, die im Abstand von jeweils 3m unter den Fachwerkpfosten entlanglaufen und die Lasten zu den Fachwerkträgern ableiten.

Daran befestigt ist die Glashülle, die in bestimmten Bereichen der Fassade und des Daches wandel- bzw. öffnenbar ausgeführt werden soll.

Im Rahmen des ersten Teils des Forschungsprojektes „Energetisch aktive und wandelbare Klimahüllen“ wurden hierfür bereits erste Konzeptstudie entwickelt und untersucht.

Nun wurden in enger Abstimmung mit der Energie- und Schallschutzplanung- und hierbei insbesondere in Korrespondenz mit den Ergebnissen der Klima- und Schallschutzsimulationen der Projektpartner- die genaue Anzahl und Position dieser Bereiche ermittelt, definiert und konstruktiv umgesetzt.

Die Weiterentwicklung dieses Projektes umfasste die konstruktive Ausführung, Materialität und Bemessung der Außenverschattung, die temporär die gesamte Fassade und das Dach verschatten kann.

Ziel dieses Themenschwerpunktes war es nun, auf Basis dieser Ergebnisse eine konsistente Tragwerksplanung in Korrespondenz mit den baukonstruktiven Anforderungen und Details, der Gebäudetechnik und des Schallschutzes zu entwickeln.

Der Fokus lag hierbei auf der Entwicklung und Bemessung der - für das Funktionieren des Energiekonzeptes der Klimahülle notwendigen- wandelbaren Dach- und Fassadenelementen, sowie einer außenliegenden Verschattung.

Schließlich wurden alle Tragwerkskomponenten und dazugehörigen Details – inklusive Verschattung- auf ein für die Realisierung der Klimahülle erforderliches Planungsniveau gebracht.

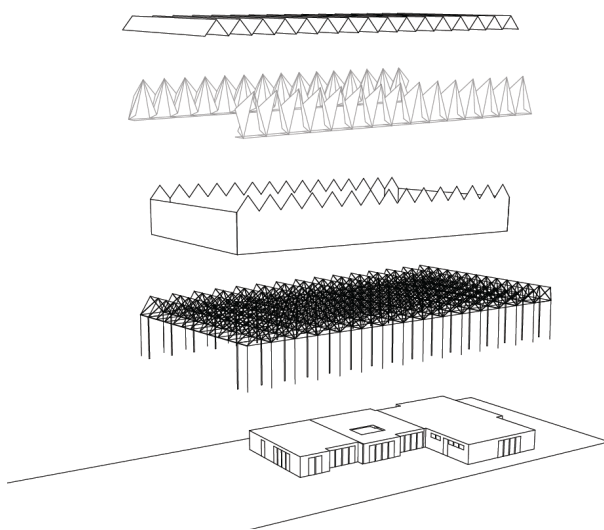


Abb.15 Bestandteile der Klimahülle (AZ 31535/02-25) (links)

Abb.16 Fassadenverschattung (AZ 31535/02-25) (rechts)

Zusammenfassend wurde die Klimahülle in den Bereichen Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit während des Projektes kontinuierlich in verschiedenen Studien und Varianten weiter optimiert.

Die im Vergleich zum Vorgängerprojekt (AZ 31535/01) weiterentwickelten Varianten (siehe Kapitel 3+4) zeichnen sich hinsichtlich der Architektur und des Tragwerks durch ein besseres A/V- Verhältnis mit einer etwas verkleinerten Grundflächen im Vergleich zur Vorgängervariante aus.

Das Volumen vergrößert sich gleichzeitig wegen der neuen Sheddachgeometrie der Hülle. Weiter konnten große Fortschritte im Bereich der Tragwerksoptimierung, bei der ein 3-dimensionaler Fachwerkträger das ursprüngliche 2-dimensionale Fachwerkträgersystem Tragwerk ersetzte, der wandelbaren Verschattungssysteme und der Materialität und der Dauerhaftigkeit erzielt werden.

Des Weiteren wurde die Planung des Sonnenschutzes, der ebenfalls im ersten Teil des Projektes konzeptionell untersucht wurde, weiterentwickelt, bemessen und konstruktiv umgesetzt.

Diese außenliegende wandelbare Verschattung soll im ausgefahrenen Zustand eine sommerliche Überhitzung verhindern und im zusammengefahrenen Zustand im Winter den maximalen solaren Eintrag ermöglichen.

Gleichzeitig wurde im Vergleich zum Vorgängerprojekt ein robuster und dauerhafter Sonnenschutz entwickelt, welcher nicht mehr aus Membranen, sondern sowohl in Dach- und Fassadenebene aus robustem mikroperforiertem Lochblech besteht.

2.2 Energie und Klimatechnik

Im ersten Teil des Forschungsprojektes (AZ 31535/01) wurde auf konzeptioneller Ebene schon beschrieben, wie durch die Klimahülle und eine geeignete Auslegung der technischen Gebäudeausstattung (Solarkollektoren, PV, Eisspeicher, Betonkernaktivierung) deutlich Energie eingespart werden kann.

Ziel dieses Projektes war es nun- auf Basis der im ersten Teil erarbeiteten Studien und Ergebnisse- die Klimahülle zum Niedrigenergiehaus, d.h. in der Jahresbilanz wäre der Energiebezug von außen auf ein Minimum beschränkt, weiterzuentwickeln. Hierfür wurde zunächst ein mit allen Projektebenen abgestimmtes Gesamtenergiekonzept erarbeitet und daraus die hierfür notwendige Gebäudeausstattung abgeleitet und dimensioniert. Schließlich wurden sowohl alle einzelnen Komponenten, als auch die Steuerung und die genaue Abstimmung des „Gesamtsystems“ auf ein für die Realisierung der Klimahülle erforderliches Planungsniveau gebracht.

Beschreibung des Energiekonzeptes

Das bisher entwickelte System des Vorgängerprojektes bestand aus einer Glashülle mit außenliegender wandelbarer Verschattung, die im ausgefahrenen Zustand eine sommerliche Überhitzung verhindert und im zusammengefahrenen Zustand im Winter den maximalen solaren Eintrag ermöglicht.

Weiter wird ein saisonal differenziert genutzter Eisspeicher zur Kühlung mittels eines Erdkanals zur Frischluftzufuhr im Sommer bzw. zur Heizung und Wärmepumpe im Winter eingesetzt.

Die im Dach integrierte Photovoltaik, versorgt nicht nur sämtliche technische Einbauten mit der benötigten Energie, sondern deckt künftig auch den gesamten Bedarf der Kita an elektrischem Strom. Darüber hinaus wird durch den Einsatz von Betonkernaktivierung im Bereich des neuen Dachgartens ebenfalls saisonal gekühlt bzw. geheizt ohne hierfür zusätzliche Energie zu benötigen.

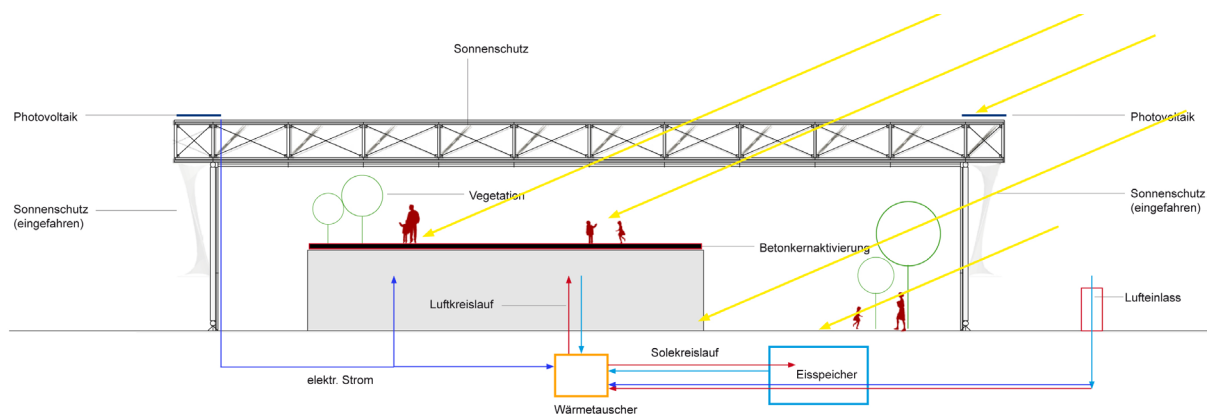


Abb.17 Klimakzept - schematischer Schnitt Winterrsituation (AZ 31535/01-25) [3]

Dieses System wurde nun im Folgeprojekt genau analysiert und weiterentwickelt. Auch die Kombination und die Prüfung weiterer Maßnahmen wurde im Folgeprojekt mithilfe von

Simulationen und detaillierten Berechnungen untersucht und hinsichtlich der Energiebilanz und Praxistauglichkeit bewertet.

Untenstehende Grafik zeigt die transmittierte Sonnenstrahlung durch die Verglasung in einer sommerlichen Auslegungswoche. Links im Diagramm ohne Verschattung, rechts mit Verschattung durch die angelegten Sonnensegel. Die Temperatur in der Klimahülle sinkt somit selbst ohne Einsatz von zusätzlicher Heizung nie unter 0° und wird im Sommer effektiv belüftet und gekühlt.

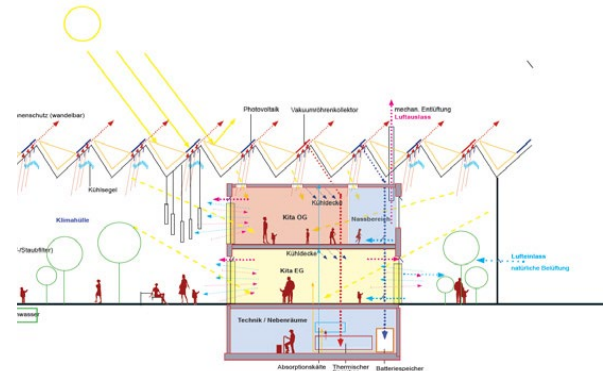
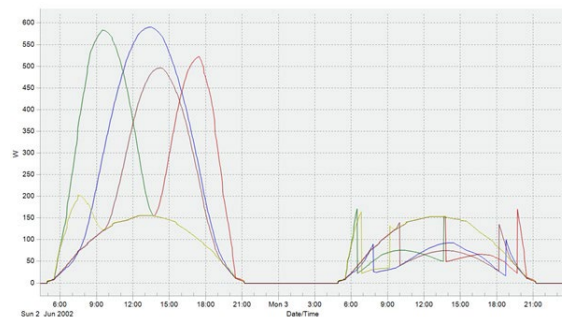


Abb.18 Transmitt. Sonnenstrahlung durch die Fenster mit/ ohne Sonnenschutz [3] (links)
Abb.19 Klimakonzep - schematischer Schnitt Wintersituation (AZ 31535/02-25) (rechts)

Zusätzlich wurde in weiteren Klimasimulationen ermittelt wie die optimalsten Temperatur- und Klimabedingungen in der Hülle mit möglichst einfachen Maßnahmen- beispielsweise durch Anordnung der Lüftungsöffnungen- erreicht werden können, um den Einsatz technischer Gebäudeausstattung und die damit verbundenen Kosten möglichst gering zu halten.

2.3 Schallschutz und Raumakustik

Im Rahmen des ersten Teils des Forschungsprojektes (AZ 31535/01) wurden bereits erste Studien und Untersuchungen, sowohl zum Schalleintrag von Außen nach Innen in die Klimahülle bzw. in das Gebäude der Kindertagesstätte Tabaluga, als auch die Raumakustik innerhalb der Klimahülle untersucht und erste Konzepte zum Schallschutz entwickelt.

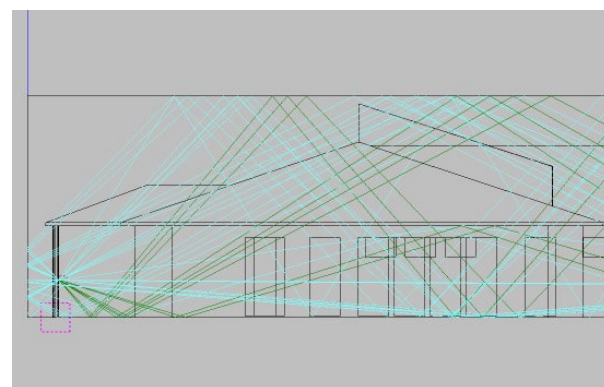
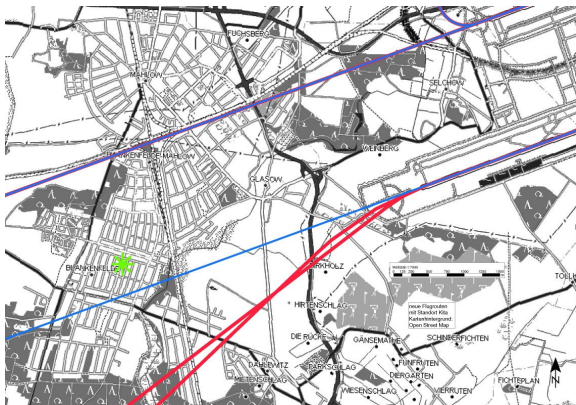


Abb.20 Zukünftige Flugrouten des BER (rot) und Standort Kita-Tabaluga (grün) [3]

Abb.21 Schall-Reflexionspfade in der Klimahülle, Ansicht von vorn (links) [3]

Sowohl die Kindertagesstätte Tabaluga als auch der Standort des Kita Neubaus in der Richard-Wagner Chaussee befinden sich im An- und Abflugbereich des Verkehrsflughafens Berlin-Brandenburg BER. Sie sind sowohl von den An- als auch von den Abflügen betroffen. Die Lage der Kindertagesstätte zu den Flugrouten zeigt die Abb. 20.

Für die Ermittlung des räumlichen Schallreflexionsverhaltens wurden im Vorgängerprojekt erste raumakustische Simulationen durchgeführt. Es zeigte sich, dass trotz eines räumlich sehr ausgeprägten Reflexionsverhaltens jedoch keine spezifischen Konzentrationseffekte für einzelne Orte innerhalb der Klimahülle auftreten.

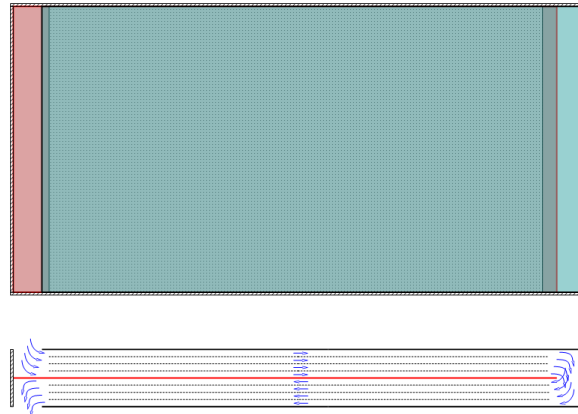


Abb. 22 Foto der „Schallmembran“ im Fensterprüfstand [3] (links)

Abb. 23 Skizze Schallmembran mit mikroperforierten Folien [3] (rechts)

Das Hauptaugenmerk der Schallschutzuntersuchungen liegt jedoch hauptsächlich auf der Reduzierung des Fluglärms von außen in die Klimahülle. Hierfür wurden im ersten Teil des Forschungsprojektes bereits schallgedämpfte Lüftungsöffnungen mit eingebauter „Schallmembran“ entwickelt. Durch das Versetzen der Lüftungsöffnungen bzw. das Umlenken der Luft entsteht ein Kanal, der prinzipiell durch Absorptionsmaterialien zu einem Schalldämpferkanal ausgebaut werden könnte.

Es wurde nun im Folgeprojekt bei der präzisen Ermittlung der Raumakustik in der Klimahülle geprüft, genau analysiert, sowie Maßnahmen entwickelt, um die Nachhallzeiten gering zu halten- wie etwa durch den Einsatz absorbierender Maßnahmen im Bereich der Decke z.B. durch perforierte transparente Folien oder ausreichende Vegetation im Innenraum.

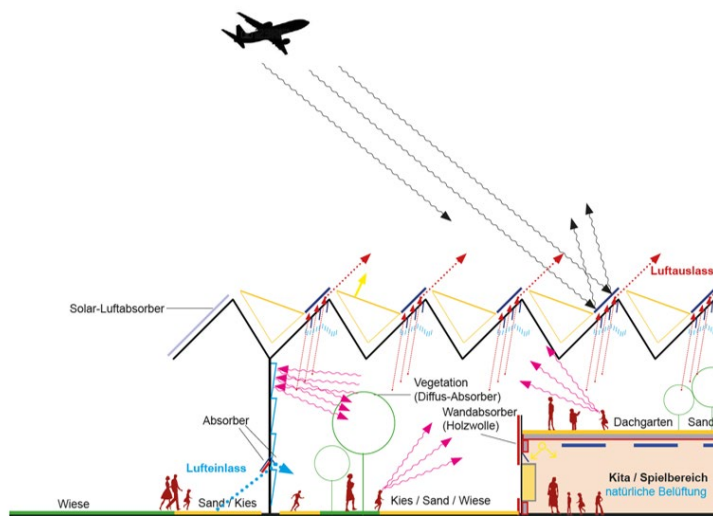


Abb. 24 Prinzipskizze der akustischen Maßnahmen (AZ 31535/02-25)

3 Vorentwurf und Ergebnisse Forschungsprojekt Bestandsvariante (Projektphase 1)

3.1 Weiterentwicklung Variante Klimahülle über die Kita Tabaluga

Die finale Variante der Klimahülle des Vorgängerprojektes (AZ 31535/01) überspannte mit einer lichten Raumhöhe von 6,50 m die Freiflächen und den neu entstandenen Dachgarten auf einer Fläche von ca. 1.950m² und hatte ein Raumvolumen von ca. 12.600 m³.

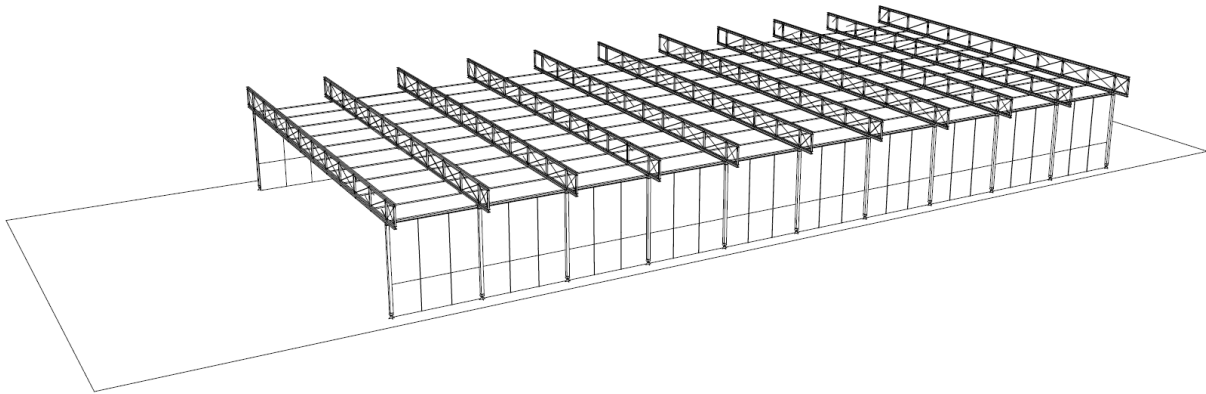


Abb.25 Tragwerk und Glashülle der Klimahülle (AZ 31535/01-25) [3]

Die erste und wichtigste Weiterentwicklung des Folgeprojektes (AZ 31535/02-25) sah eine Veränderung der Grundgeometrie von einem Flachdach mit außenliegendem eindimensionalem Fachwerk hin zu einem Sheddach mit einem innenliegenden 3-dimensionalen Fachwerk vor.

Die im Vergleich zum Vorgängerprojekt (AZ 31535/01) weiterentwickelte Variante zeichnet sich somit durch ein deutlich verbessertes Zusammenspiel der einzelnen Themengebiete, sowie eine größere, ganzheitliche Effizienz in allen Bereichen aus.

Der Klimahüllenentwurf profitiert dadurch hinsichtlich der Kompaktheit und Nachhaltigkeit durch ein besseres A/V- Verhältnis mit einer etwas verkleinerten Grundfläche von 1.690 m² im Vergleich zur Vorgängervariante mit 1.950 m². Somit bleibt der Kita Tabaluga ein auch von den Erziehern gewünschter, größerer Gartenbereich zur Verfügung.

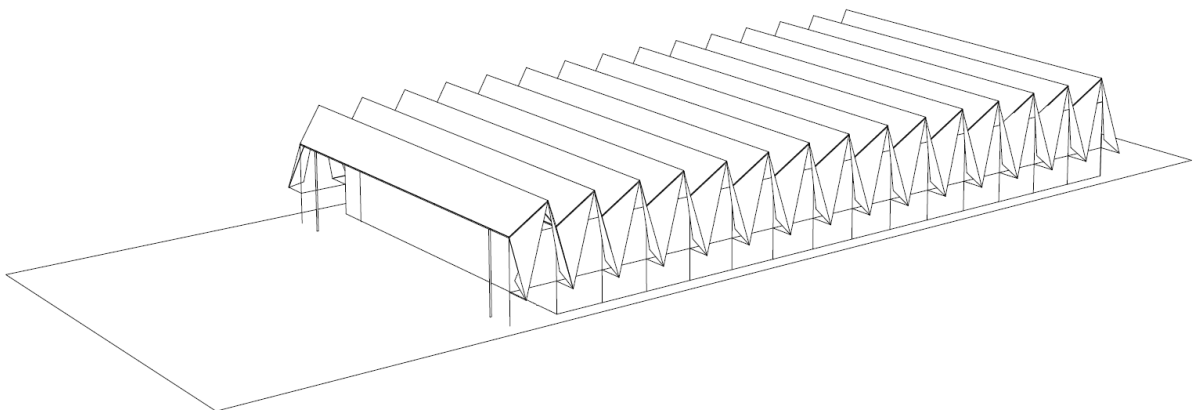


Abb.26 Tragwerk und Glashülle der Klimahülle (AZ 31535/02-25 + alle folgenden Grafiken)

Volumen Klimahülle
Sheddachprinzip

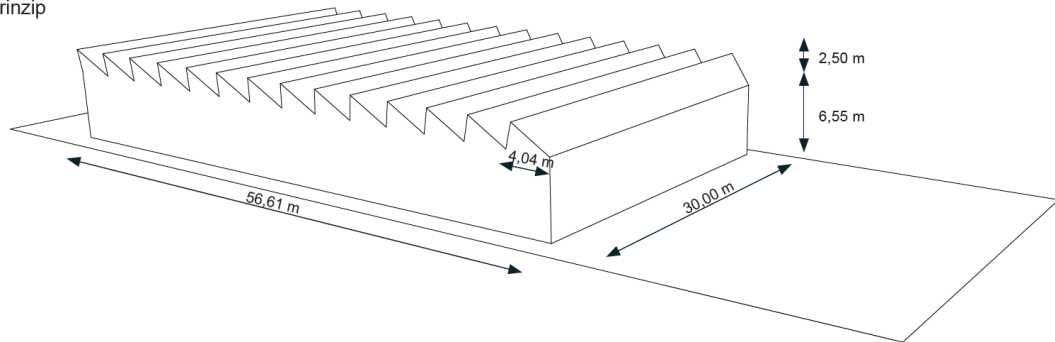


Abb.27 Volumen und Geometrie der Klimahülle mit Sheddachprinzip

Das Volumen vergrößert sich gleichzeitig wegen der neuen Sheddachgeometrie der Hülle von 12.600 m³ auf 13.235 m³. Weiter konnten große Fortschritte im Bereich der Tragwerksoptimierung (3-dimensionaler Fachwerkträger), der Dauerhaftigkeit der wandelbaren Verschattungssysteme und der Proportionen erzielt werden.

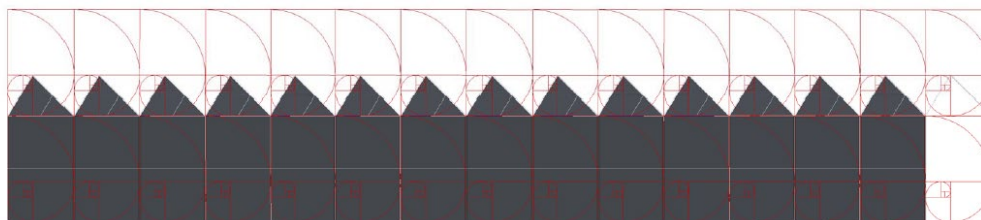
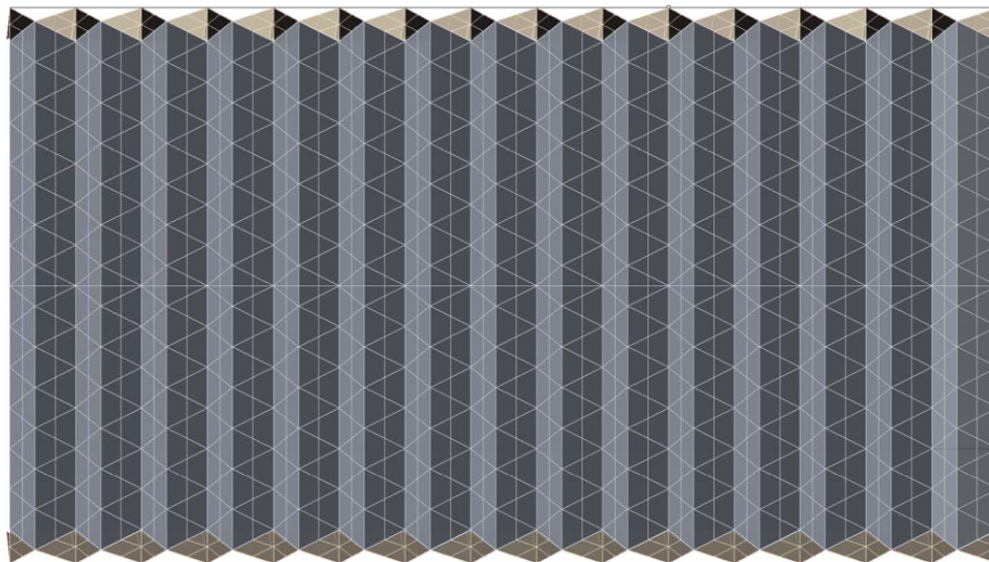


Abb.28 Tragwerk und Glashülle der Klimahülle (oben)

Abb.29 Proportion der Hülle mit „goldenem Schnitt“ (unten)

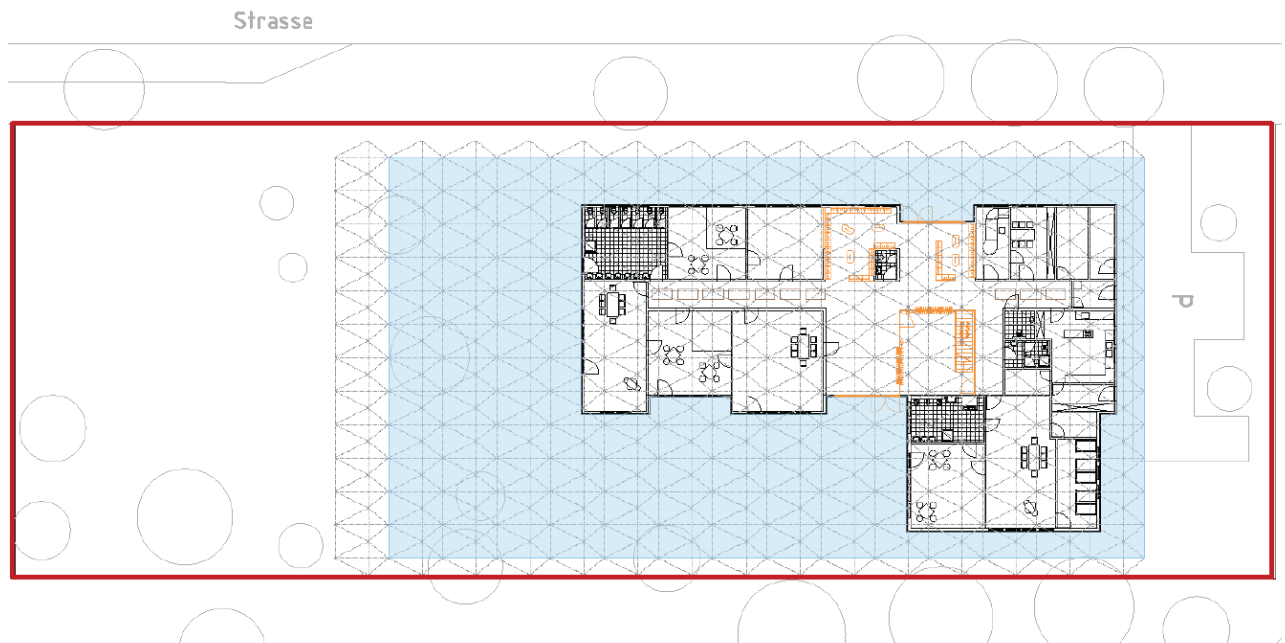


Abb.30 Innenausbau der Kita Tabaluga mit Klimahülle (blau) (oben)

Neu in den Kindergarten eingebaut wird ein Lichthof mit Treppenaufgang und einige Oberlichter im Flurbereich sowie in drei Räumen, um Lichteinbußen, die durch die Klimahülle entstehen, zu kompensieren. Dieser bedeutet zwar eine leichte Erhöhung der Heizlast um etwa 700 kWh, senkt jedoch zugleich den Kühlleistungsbedarf bedeutend um etwa 10 000 kWh. Des Weiteren wird das alte Kindergarten-Dach durch eine Leichtbaudecke ersetzt, die gleichzeitig als Dachterrasse dienen wird. In der Simulation wurde nach aktuellem Standard für die Leichtbaudecke verwendet. Diese besteht aus folgenden Schichten: 10 mm Asphalt, 100 mm Glaswolle, 25 mm Luftschicht und 13 mm Gipsplatte. Die energetisch günstigere betonkernaktivierte Decke mit 28 cm Betonschicht ist statisch aufgrund von zu hohem Aufwand bzw. in einem angebrachten Kostenrahmen nicht umsetzbar.

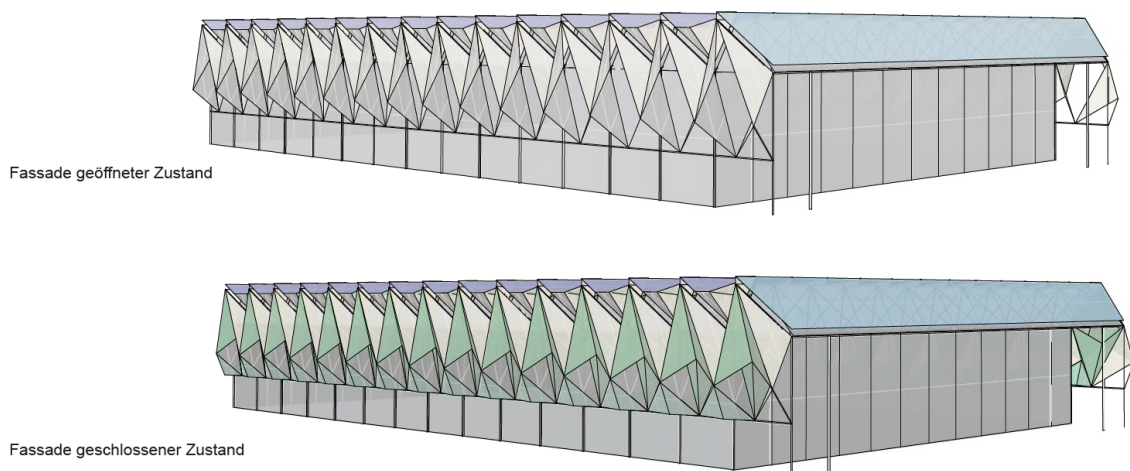


Abb.31 Skizzen- integrierter Sonnenschutz geöffneter Zustand (oben)

Abb.32 Skizzen- integrierter Sonnenschutz geschlossener Zustand (unten)

Um dennoch eine Verschattung des Kindergartens selbst an heißen Tagen zu ermöglichen, wird die Verschattung mit einem Überstand und den in Abb. 28 und 29 dargestellten Elementen aus mikroperforiertem Lochblech ausgeführt. Je später im Sommer, desto schräger ist der Sonneneinfallswinkel, d. h., desto weiter gelangt die Sonnenstrahlung trotz Verschattung in die Klimahülle. Es muss also möglichst der letzte heiße Tag des Sommers betrachtet werden. Der letzte heiße Tag in Blankenfelde-Mahlow war im Jahr 2017 der 30.08., aus diesem Grund wird dieser als Richtwert genommen. Ein Überstand von 0,50 m auf 2,50 m Höhe sorgt dafür, dass auch am 30.08. um 16 Uhr noch keine Sonne in die Kindergartenfenster strahlt.

Untersucht wurde eine Variante der Glasfassade der Klimahülle aus 2-fach-Glas im Vergleich mit einer Glasfassade aus 3-fach-Glas. Beide Varianten wurden auf mögliche Tauwasserentstehung überprüft und verglichen.

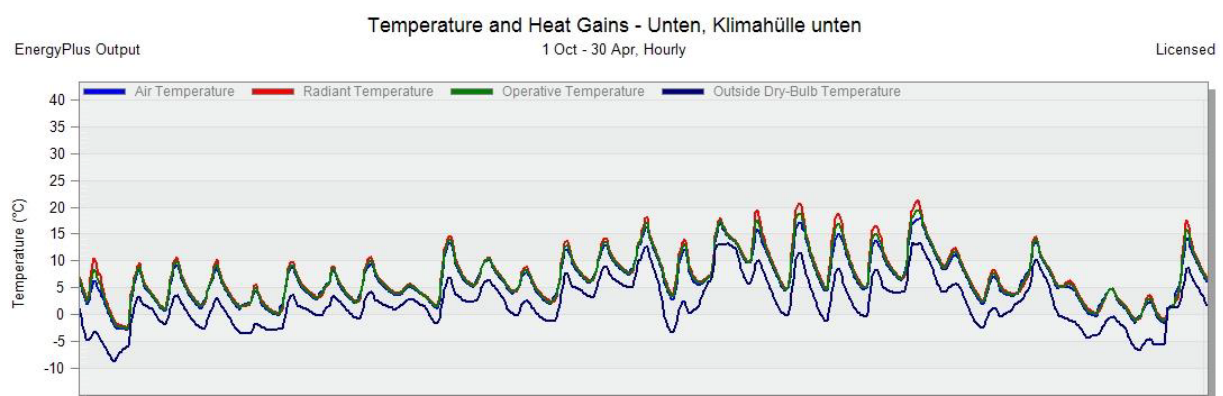


Abb.33 Temperatur Klimahülle und Außentemperatur, Februar

Nachdem die absolute Luftfeuchtigkeit im Winter sehr gering ist und die Lufttemperatur innerhalb der Klimahülle stets über der Außenlufttemperatur liegt, kommt es im Winter kaum zu Taupunktunterschreitungen, weder bei 3-fach-Glas, noch bei 2-fach-Glas. Der Temperaturverlauf im Inneren der Klimahülle bei einer Fassade aus 3-fach-Glas verglichen mit der Außentemperatur ist für Februar in Abbildung 30 gezeigt.

Im Sommer herrschen zwar höhere absolute Luftfeuchtigkeiten, allerdings wird durchgehend gelüftet, so dass zusätzliche Wasserlasten abtransportiert werden können. In der Übergangszeit wird nicht durchgehend gelüftet und es kann zu Tauwassererscheinungen kommen. Unter der Annahme einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von 70 % im Übergangszeitraum innerhalb der Klimahülle, wird ab einer Oberflächentemperatur von 5 K unter der Lufttemperatur in der Klimahülle im Falle von 10 °C der Taupunkt erreicht. Je höher die Temperatur, desto höher kann die Differenz sein, ohne dass es zu einer Unterschreitung des Taupunkts kommt. Mit 3-fach-Glas handelt es sich um nur wenige kurzzeitige Ausnahmen, in denen es zu Tauwasser kommen kann. Die Glasfassade mit 3-fach-Glas zu gestalten ist deshalb sinnvoll. Weitere Maßnahmen müssen in dem Fall nicht gegen Tauwasser getroffen werden.

Um eine natürliche Lüftung der Klimahülle zu ermöglichen und sicherzustellen, dass durch die Klimahülle keine zusätzlichen technischen Apparate nötig werden, wurden Temperaturbetrachtungen der Klimahülle durchgeführt. Es wurde zunächst mit einer Öffnungsfläche der unteren Klimahüllenhälfte von 5 % über die gesamte Ost- sowie Westfassade gerechnet, sowie einer Öffnungsfläche von 5 % auf der nach Norden

gerichteten Seite aller Sheds. Zusätzlich ist bei Bedarf eine Öffnung der Tore im Norden und Süden der Klimahülle möglich. Grundsätzlich ist es in der Klimahülle stets wärmer als die Außentemperatur, da sich die Luft durch solare Einstrahlung aufheizt. In den kälteren Monaten von Oktober bis April ist die Aufwärmung gewünscht und wird durch möglichst geringe Lüftung unterstützt. Um dennoch eine angenehme Luftqualität in der Klimahülle zu haben, wird der Luftwechsel in der Klimahülle von 6 – 17 Uhr unter der Woche (zu den Belegungszeiten des Kindergartens) mit 3 1/h angesetzt.

In den wärmsten Monaten von Mai bis August heizt sich die Klimahülle schnell zu sehr auf. Um dem entgegenzuwirken, ist eine durchgängige komplette Öffnung der Klimahüllenfenster vorgesehen, auch an den Wochenenden.

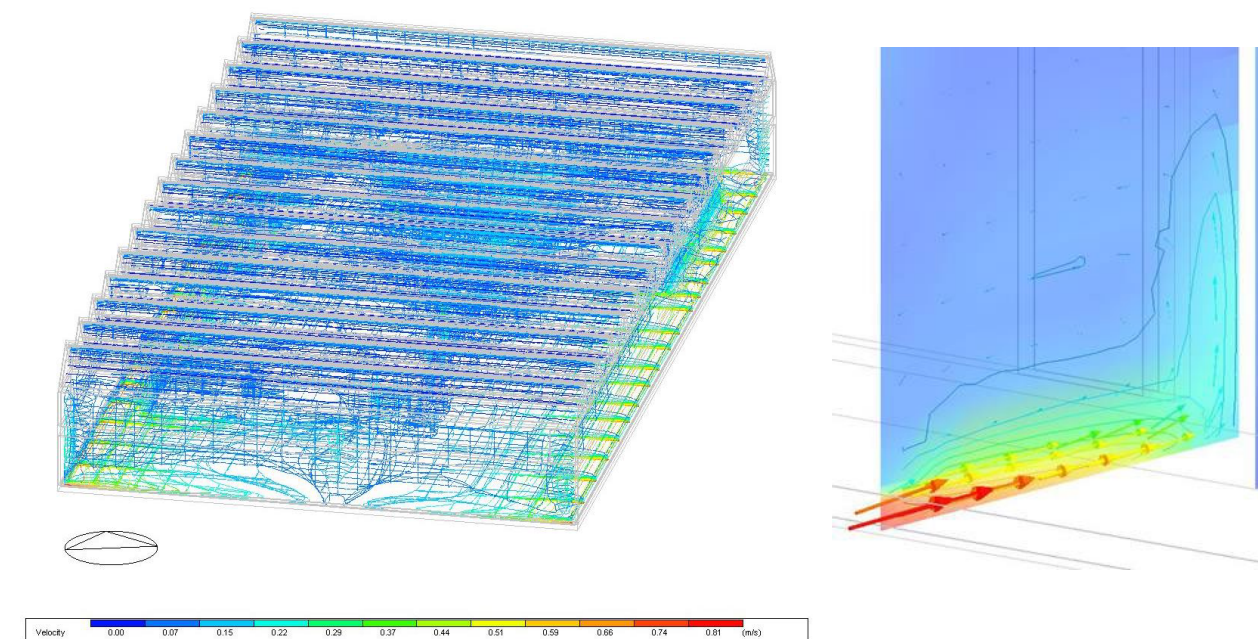


Abb.34 3D-Konturen der Geschwindigkeitsverteilung am 07.06., 16 Uhr (links)

Abb.35 Geschwindigkeitsvektoren an der Westfassade, in Bodennähe (rechts)

Um ausreichende Strömungen innerhalb der Klimahülle zu verifizieren, wurde eine Strömungssimulation vorgenommen. Beispielhaft wurden die Strömungen innerhalb der Klimahülle für den 07.06. um 16 Uhr betrachtet. In der Simulation tritt zu diesem Zeitpunkt der wärmste Zustand des Jahres auf. Abbildung 31 zeigt die 3D-Verteilung der Geschwindigkeitskonturen zu diesem Zeitpunkt. Deutlich sind die erhöhten Geschwindigkeiten in Bodennähe an West- und Ostfassade zu erkennen, an der Stelle der Fassadenöffnungen. Die Geschwindigkeitsvektoren betragen dort etwa 0,5 m/s. Auf einer Höhe von 1,30 m der Klimahülle ergibt sich der in Abbildung 32 dargestellte Geschwindigkeitsschnitt. Die Geschwindigkeiten bewegen sich hauptsächlich um 1 m/s. An Wänden und Fensteröffnungen sind leicht erhöhte Geschwindigkeiten zu erkennen.

Die Luft steigt an den Wänden nach oben. Dies ist insbesondere in Abbildung 32 deutlich zu sehen. In der Simulation des Lüftungsspalt wurde dieser bisher in Bodennähe angenommen. So stellt der Lüftungsspalt allerdings eine Verletzungsgefahr für die Kinder dar, da diese sich die Finger einklemmen könnten.

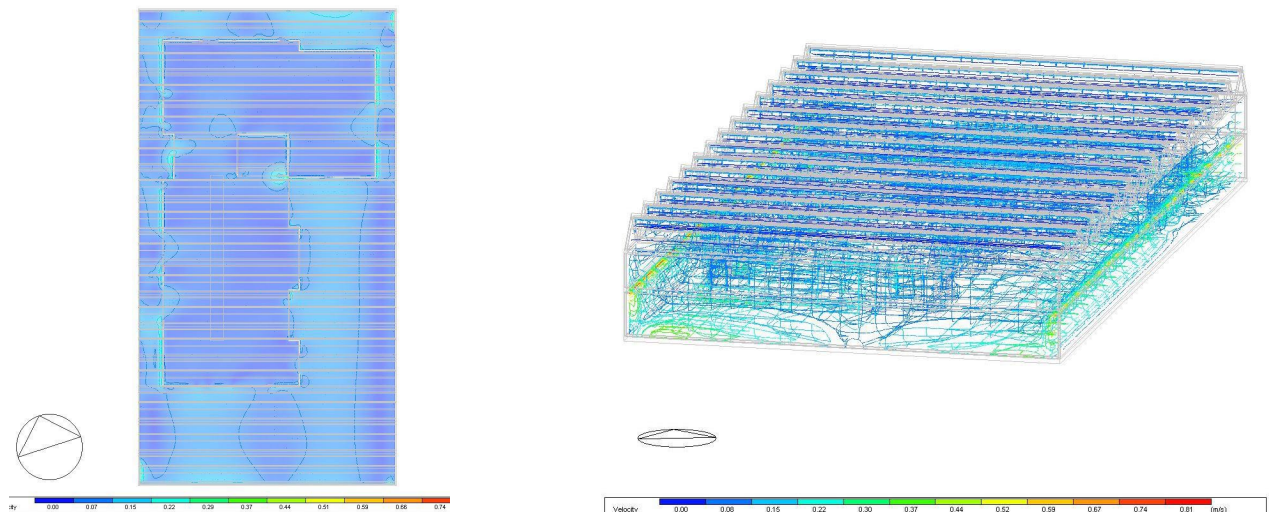


Abb.36 Geschwindigkeitsquerschnitt auf 1,30 m Höhe (links)

Abb.37 3D-Konturen der Geschwindigkeitsverteilung, Variante 2 (rechts)

Aus diesem Grund wurde zudem eine Variante mit dem Lüftungsspalt auf einer Höhe von 2,85 m verglichen (Abb. 34). Die Heiz- und Kühlleistung, die über das Jahr benötigt wird, ändert sich hierdurch nicht, lediglich auf die Strömung in der Klimahülle hat die Änderung einen Einfluss. Es ergeben sich ähnliche Geschwindigkeitsverteilungen in der Klimahülle. Lediglich direkt am Lufteinlass der West- und Ostfassade treten deutliche Unterschiede auf. Da die Außenluft kühler als die Innentemperatur der Klimahülle ist, fällt die eintretende Außenluft an der Fassade entlang ab. Aus diesem Grund kommt es auch im Bodenbereich weiterhin zu ausreichender Luftströmung. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich bei Variante 2 ein angenehmer Luftstrom einstellt, der in der Wahrnehmung der Personen in der Klimahülle einen leicht abkühlenden Effekt mit sich bringt, der im Sommer durchaus willkommen ist.

In Kombination mit einem Eisspeicher-Wärmepumpen-System eignet sich ein Niedertemperatursystem für die Wärmeeinbringung in das Gebäude. Es können Fußboden- sowie Deckenheizsysteme verwendet werden. Die Fußbodenheizungen, die sich schon in den Kripperäumen befinden, können weiterhin eingesetzt werden. Anstelle der ansonsten eingebauten Radiatoren wird die Kindergartendecke mit Deckenheizungen versehen. Diese können zu Heizung und Kühlung verwendet werden.

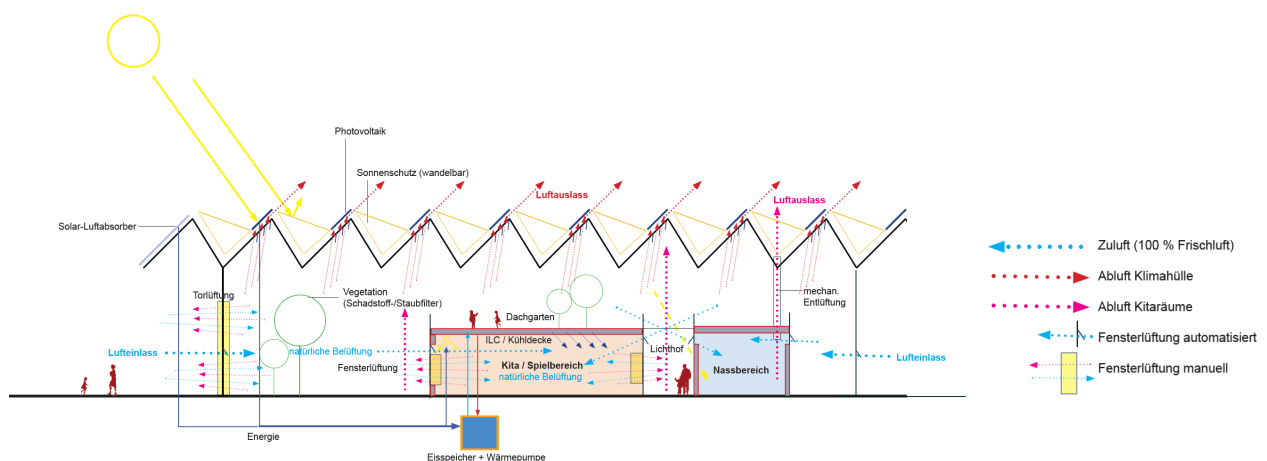


Abb.38 Klima- und Energiekonzept schematisch

In Korrespondenz zum Energiekonzept wurde auch das Lärmschutz- und Akustikkonzept der Klimahülle im Vergleich zur Vorgängervariante in allen wesentlichen Aspekten überdacht und weiterentwickelt. Die Resultate versprechen eine weitere Reduktion des Lärms.

Auf die Hülle auftretender Fluglärm trifft entweder auf die Hüllenaußenseite mit ihrer Schalldämmung oder auf durchlässige Lüftungsöffnungen. Die Schalldämmung der Hülle wird im Rechenmodell einheitlich mit $R_w = 45 \text{ dB}$ angenommen, die bei der gewählten Verglasung mit einem Flächengewicht von ca. 41 kg/qm angesetzt werden kann. Die Schalldämmung der Lüftungsöffnungen wird konservativ mit 0 dB angenommen. Die Schirmwirkungen der Klappen und Schalldämpferwirkungen der Zu- und Abluftsysteme werden zunächst im Rechenmodell nicht angesetzt.

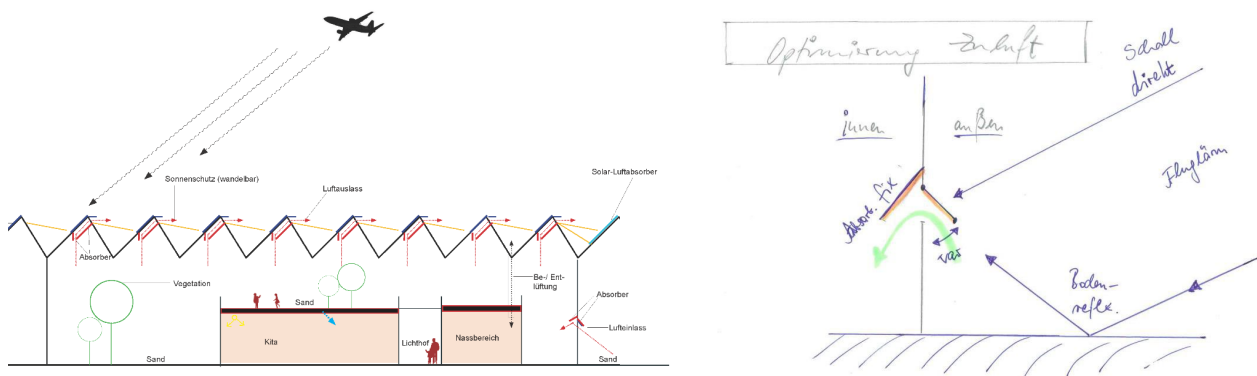


Abb.39 Schematische Darstellung Schallschutzmaßnahmen der Klimahülle [Anh.A3] (links)
Abb.40 Handskizze mit Wirkprinzip Zuluft [Anhang A3] (rechts)

Im Moment des Überflugs beträgt die vom Flugzeug aus gesehene Hüllfläche ca. 1175 qm . Da der Beurteilungspegel 72 dB(A) an einem Immissionsort im physikalischen Sinne gleich dem einfallenden Intensitätspegel ist, resultiert eine Schalleistung von $L_{WA} = 102,7 \text{ dB(A)}$, die auf die Hülle auftrifft. Geht man davon aus, dass das Schalldämm-Maß der Verglasung auch für Freifeldeinfall seine Gültigkeit behält (was näherungsweise der Fall ist), dann dringt durch die geschlossene Glashülle (Lüftungsklappen alle geschlossen) eine Schalleistung in Höhe von $102,7 - 45 = 57,7 \text{ dB(A)}$ in die Halle hinein. Bei großen Flächenanteilen der „Außenbereiche“ und der Kita-Dachfläche mit Sand und Kiesbelegung ist von einer äquivalenten Schallabsorptionsfläche von mindestens $A = 1000 \text{ qm}$ in der Halle auszugehen. Nach der Formel $L_i = L_{wa} + 6 \text{ dB} - 10 \lg(A)$ berechnet man demnach für den geschlossenen Fall einen Innenpegel in Höhe von $57,7 - 24 = 33,7 \text{ dB(A)}$ im lautesten Überflugmoment eines Landesankunft von Westen her auf der südlichen Landebahn.

Die Nordorientierung der Abluftöffnungen verhindert direkten Schalleinfall durch im Süden vorbei Fliegende. Im Moment des Überflugs sieht man vom Flugzeug aus überhaupt keine Zuluftöffnungen mehr. Kurz vor und unmittelbar nach dem Vorbeiflug werden – bei Verzicht auf die Schirmwirkung von Klappen und Schalldämpfer ca. $77,9 \text{ dB(A)}$ Schalleistung in die Hülle eingetragen. Dieser rechnerische Wert von $L_{WA} = \text{ca. } 78 \text{ dB(A)}$ ist insofern interessant, als bei angenommenen 1000 qm äquivalenter Absorptionsfläche ein Halleninnenpegel von maximal 54 dB(A) resultiert. Eines der Lärmschutzprogramme am BER hat ja bekanntermaßen zum Ziel, auch am Tag in Innenräumen Maximalpegel von 55 dB(A) möglichst zu minimieren. Berücksichtigt man die Schirmwirkung der geplanten Klappen, dann ist von einem geringeren Schalleintrag via Lüftungsöffnungen auszugehen.

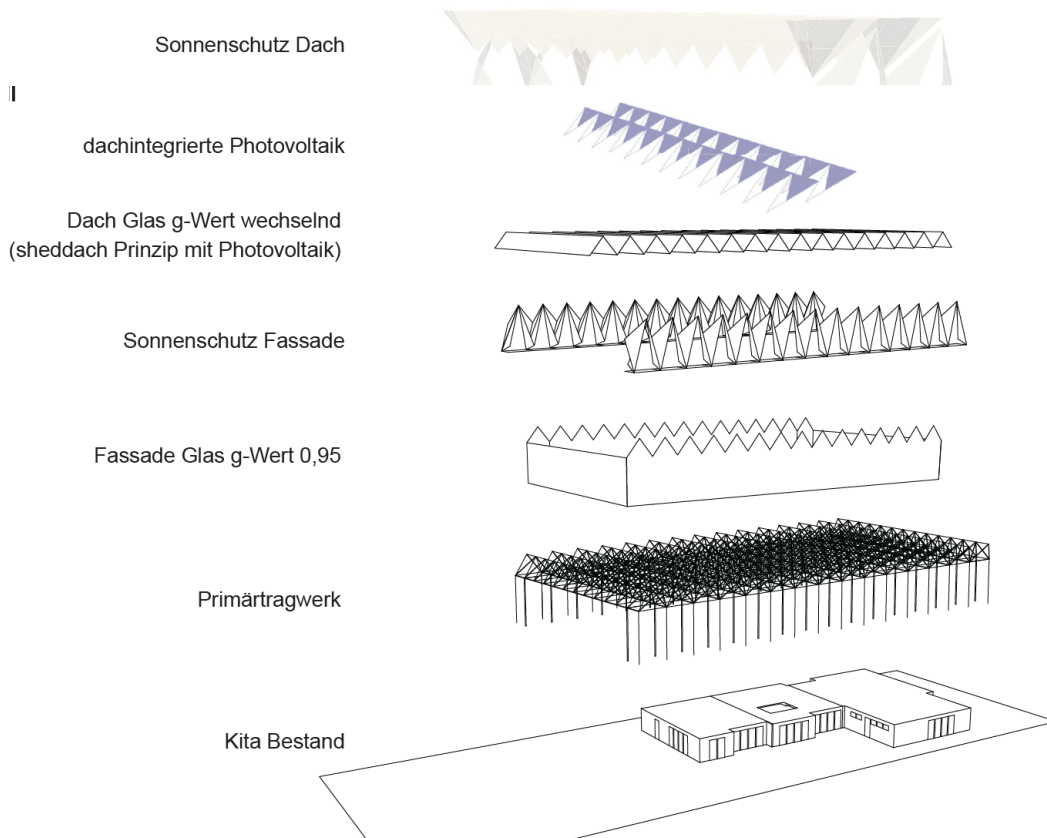


Abb.41 Komponenten der Klimahülle über der Kita Tabaluga mit neuem Dachgarten



Abb.42 Innenraumperspektive der Klimahülle über der Kita Tabaluga

Zusammenfassend wurde die Klimahülle der Projektphase 1 in allen Bereichen - Architektur, Tragwerk, Energie und Lärmschutz- und auch Kosten kontinuierlich weiter verbessert und optimiert. So konnten nicht nur große Fortschritte im Bereich der Tragwerksoptimierung (3-dimensionaler Fachwerkträger), der wandelbaren Verschattungssysteme erzielt werden, sondern auch das räumlich architektonische Konzept deutlich verbessert werden.



Abb.43 Innenraumperspektive der Klimahülle über der Kita Tabaluga

Die energietechnische Effizienz der neu entwickelten Hüllenkubatur wurde durch weitere Energie- und Klimasimulationen dahingehend berechnet und optimiert, dass mittels des kombinierten Einsatz' von Heiz-Kühlsystemen, mittels wandelbarer Verschattung, sowie Eis- und Batteriespeicher zu jeder Jahreszeit 23° C gefühlte Innenraumtemperatur in der Kita, sowie min. 3°C im Winter bzw. max. 27°C gefühlte Temperatur in der Klimahülle vorherrschen.

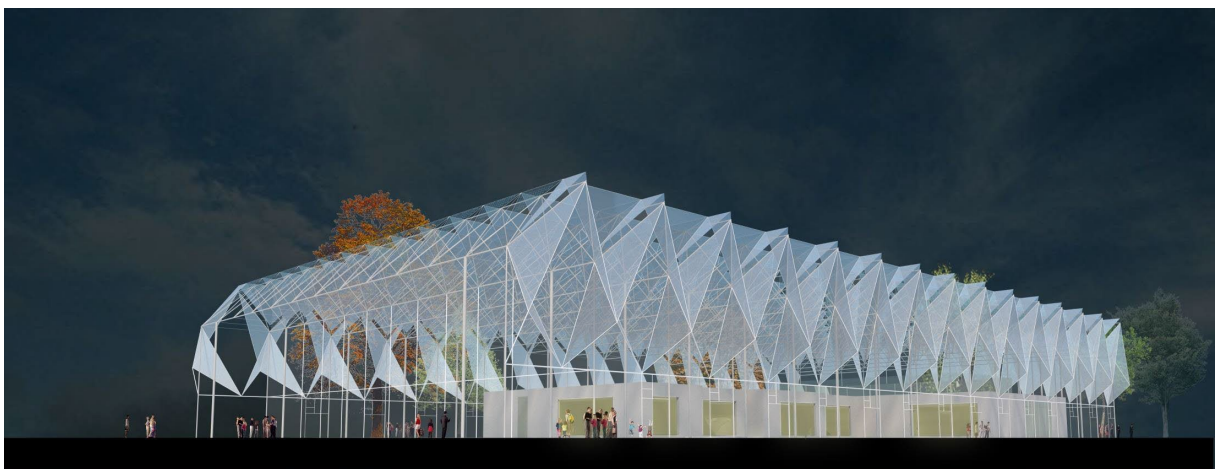


Abb.44 Außenraumperspektive der Klimahülle über der Kita Tabaluga

4 Vorentwurf und Ergebnisse Forschungsprojekt Neubauvariante (Projektphase 2)

4.1 Einordnung und Varianten

Nachdem sich die Gemeinde Blankenfelde-Mahlow und die Fördermittelgeberin darauf geeinigt hatten, das Klimahüllen-Forschungsprojekt am neuen Standort der Richard Wagner Chausée zu planen, wurde im Rahmen der Projektphase 2 die Überarbeitung hinsichtlich der Adaption und Anpassung der bisherigen Klimahüllenforschung der Bestandsvariante der Kita Tabaluga auf den neuen Standort des ebenfalls stark durch Fluglärm belasteten Neubau-Kita in der Richard-Wagner-Chausée (Flurstücke 471+472) hin untersucht und weiterentwickelt.

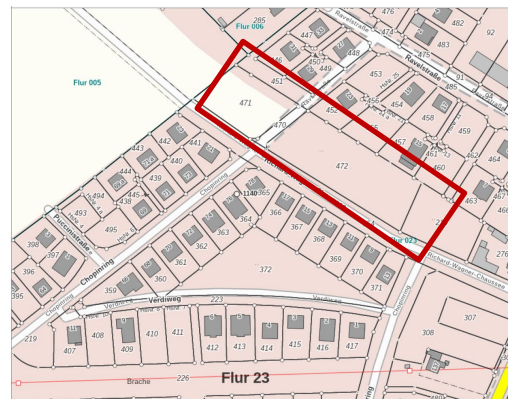


Abb.45 Amtlicher Lageplan Standort Richard-Wagner-Chausée [4] (links)

Abb.46 Auszug aus der Flurkarte Standort Richard-Wagner-Chausée [5] (rechts)

Diese Forschungsarbeit diente als Basis zur Leistungsbeschreibung zur diesbezüglichen Ausschreibung der Generalplanungsleistungen des Bauvorhabens in der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow. Die Studien in Projektphase 2 und der daraus resultierende Vorentwurf umfasst die Einordnung der Arbeit im Vergleich zur Bestandsvariante, deren städtebauliche und architektonische Einordnung des überarbeiteten Klimahüllenentwurfes des Kita-Neubaus am geplanten Standort in der Richard-Wagner-Chausée.



Abb.47 Standort der Kita Tabaluga [2]

Abb.48 Standort für Kita Neubau

Im Rahmen der Projektphase 2 wurde der Vorentwurf der Klimahülle in Kombination mit dem Kitaneubau mit Bezug auf dessen geplantes Nutzungs- und Raumkonzept evaluiert, sowie dessen architektonisches, tragwerktechnisches und energetisches Potential überarbeitet und weiterentwickelt. Dieser Ansatz, der sowohl den Anforderungen an Schallschutz, Behaglichkeit und aktiver Energienutzung Rechnung trägt, wird im Folgenden anhand von Variantenstudien, Skizzen, Plänen und Simulationsgrafiken hergeleitet und erläutert.

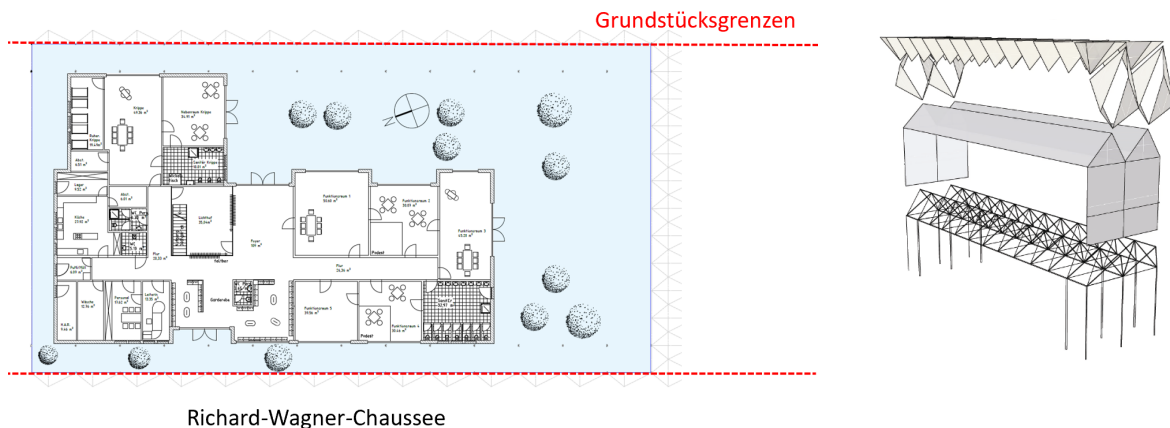


Abb.49 Implementierung der Kita-Tabaluga-Planung am Standort für Kita Neubau

Im Vergleich zur ursprünglichen Fassung des Forschungsantrages gab es aufgrund der politischen Situation mit dem während der Projektphase 1 in Betrieb gegangenen BER-Flughafens und vor allem wegen des stark steigenden Bedarfs an Kita-Plätzen in der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow den dringenden Bedarf eines Kita-Neubaus. Daher entschied sich die Gemeindevertretung Blankenfelde-Mahlow in der Beschlussfassung vom 26.11.2020 für den Neubau der Kindertagesstätte mit Klimahülle an der Richard-Wagner-Chaussee: (...) *Die Gemeindevertretung beschließt, den Neubau der Kindertagesstätte am Standort Richard-Wagner-Chaussee mit einer Klima- und Lärmschutzhülle (Konzept der TU Berlin/ Forschungsprojekt DBU) umzusetzen.* (...)

Im Vorfeld zu diesem Beschluss wurde der Klimahüllenentwurf durch die Kooperationspartner in allen Bereichen - Architektur, Tragwerk, Energie und Lärmschutz- kontinuierlich weiter optimiert und auf die Neubauvariante der Kita mit Klimahülle angepasst und überprüft. Jedoch wurde im Vergleich zur Bestandskita mit 90 Kindern eine Neubauvariante für 120 Kinder gefordert.

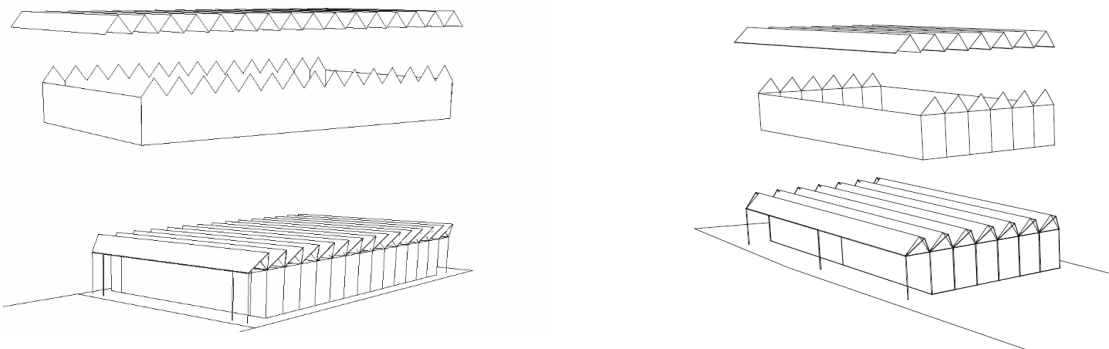


Abb.50 Implementierung der Kita-Tabaluga-Planung am Standort für Kita Neubau (links)
Abb.51 Neuplanung der Klimahülle am Standort für Kita Neubau (rechts)

Die im Vergleich zum Vorgängerprojekt „Variante Tabaluga“ weiterentwickelte „Variante Neubau“ zeichnet sich zwar durch die prinzipiell gleichen Maßnahmen und Komponenten hinsichtlich des Schallschutz- und Innenakustikkonzeptes, des Klima- und gebäudetechnischen Konzeptes sowie des Tragwerks- und baukonstruktiven Konzeptes aus. Jedoch ist die Grundfläche der Neubauvariante mit 1.550 m² im Vergleich zur ursprünglich geplanten Variante mit 1.700 m² nur annähernd gleich groß. Das Innenraumvolumen bewegt sich mit 11.500 m³ auf gleichem Niveau.

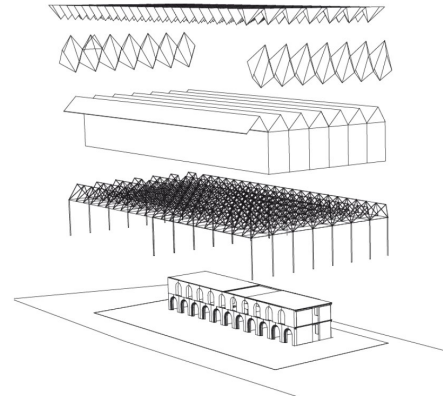


Abb.52 Implementierung der Kita-Tabaluga-Planung am Standort für Kita Neubau (links)
Abb.53 Komponenten Neuplanung der Klimahülle am Standort für Kita Neubau (rechts)

Aufgrund des deutlich schmaleren Baufeldes und der neuen Süd-West-Orientierung des Grundstückes, sowie der Vergrößerung der Kinderanzahl in der Kita von 90 auf 120 Plätze, konnten zwar die bisherigen Forschungs- und Planungsergebnisse der Projektphase 1 des Forschungsprojektes zum Großteil auf die Neubaumaßnahme übertragen werden, jedoch musste der Entwurf der Klimahülle mit den Kitainnenräumen komplett neu entwickelt und geplant werden.

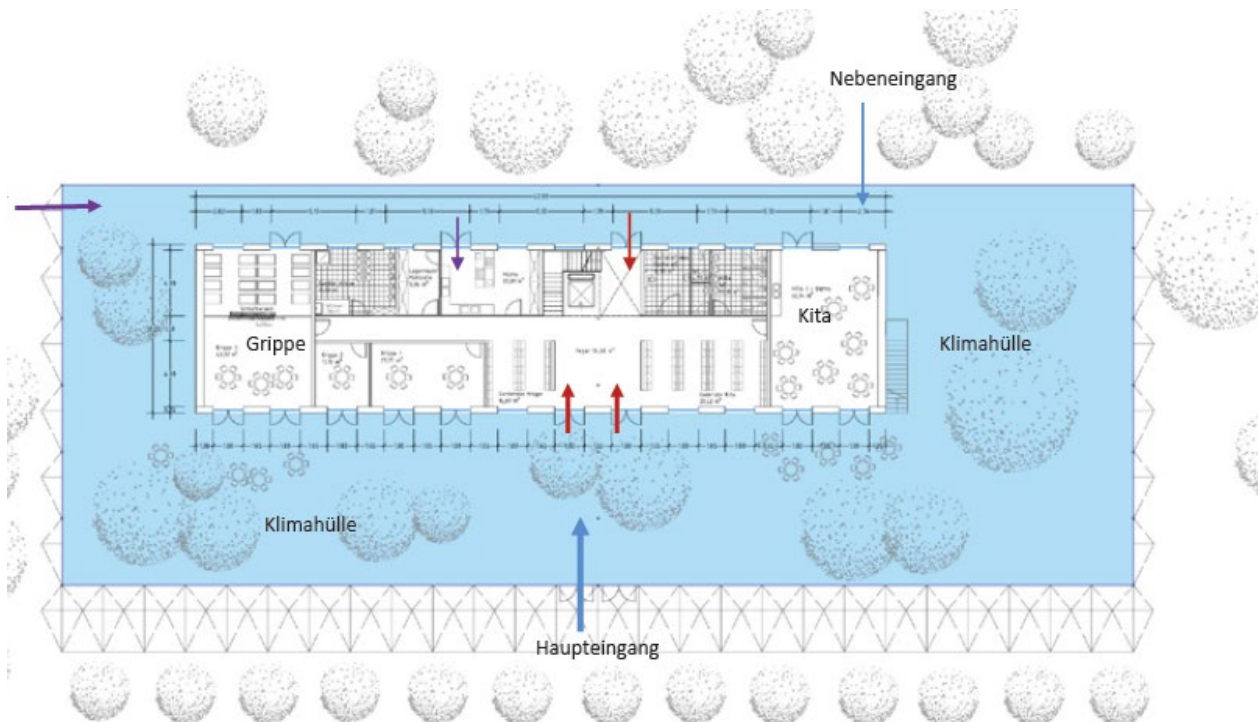


Abb.54 Grundriss Neuplanung der Klimahülle am Standort für Kita Neubau

Die Variante für den Kitaneubau für 120 Kinder mit Klimahülle umfasst folgende Bauteile: Überdachung und Einhausung des klimatisierten Außenbereichs und Einbauten für die erweiterten Kita-Innenraumflächen. Die Klimahülle hat eine Grundfläche von 1.550 m², eine pädagogische Nutzfläche (NUF) von ca. 500 m² ohne und ca. 1.600 m² mit Klimahülle und eine Luftvolumen (LNUF) von ca. 10.500 m³.

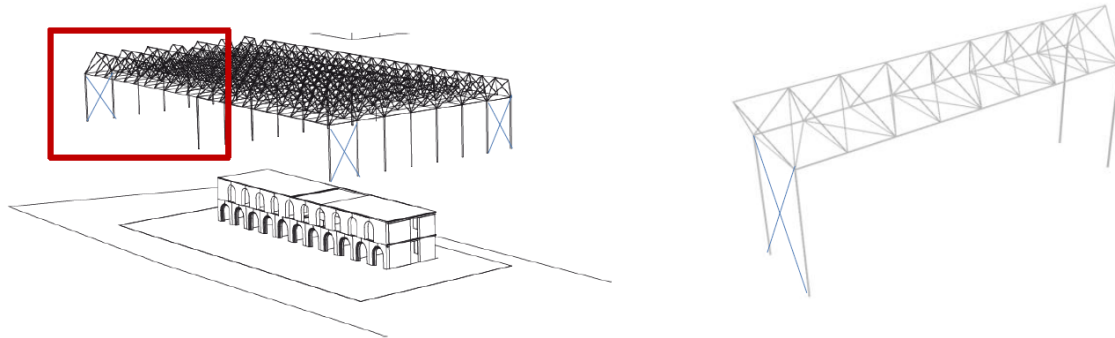


Abb.55 Primärtragwerk der Klimahülle über dem Kitamodulbau (links)

Abb.56 Element des Primärtragwerks der Klimahülle (rechts)

Das Haupttragwerk für die Klimahülle wird aus durch eine Stahlkonstruktion gebildet. Die Hauptelemente der Konstruktion bilden 3-dimensionale Fachwerkbinder aus Stahlrohren, die die freie Fläche in Längsrichtung überspannen, Stützen (seitlich und mittig) aus Stahlrohren, die die Vertikallasten aus der Überdachung zu den Fundamenten leiten, sowie Windverbände (Auskreuzungen) aus Stahlseilen oder Zugstangen, die gemeinsam mit den Stützen für die horizontale Aussteifung des Bauwerks sorgen.

Die Verbindung von innovativem Verschattungskonzept mit Niedrigtemperaturheiz- und Kühlkonzept wird nicht nur in den innenliegenden Kitaräumen für ein angenehmes Raumklima sorgen. Vakuumröhrenkollektoren versorgen einen thermischen Speicher mit thermischer Energie, die mit Hilfe einer Wärmepumpe sowohl zur Heizung als auch zur Kühlung verwendet wird. Die Be- und Entlüftung ist über großflächige Öffnungen geplant und kann sowohl manuell als auch mechanisch umgesetzt werden. Regenwasser wird in einem großen Behälter unterirdisch gesammelt und den Pflanzen, die sich innerhalb der Klimahülle befinden, zugeführt.

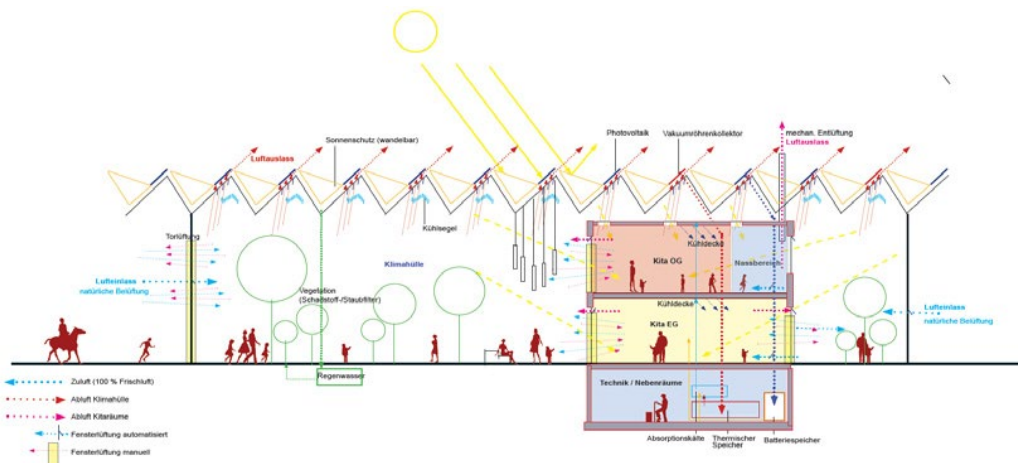


Abb.57 Energie- und Klimakonzept der Klimahülle mit Kitainnengebäuden

4.2 Entwurfsbeschreibung finale Variante

Nachdem sich die Gemeinde und die Fördermittelgeberin darauf geeinigt hatten, den „Kitaneubau mit Klimahülle“ in der Richard-Wagner-Chausée zu planen und zu bauen, wurde auf Basis der Variantenstudien (Kapitel 4.1) ein das Forschungsprojekt abschließender Überarbeitungsstand (finale Variante) des Entwurfes und sämtlicher Forschungsthemen entwickelt.

Der hierfür wurde der maßgebliche, amtliche Bebauungsplan für die Flurstücke 471,470 und 472 mit einer addierten Gesamtfläche von ca. 5.130 m² und einer aus dem maßgeblichen GRZ- Wert von 0,3 resultierenden maximalen Klimahüllengrundfläche von ca. 1.550 m² angenommen.



Abb.58: Lageplan Klimahülle Variante 4.1



Abb.59: Lageplan Klimahülle finale Variante 4.2

Im Vergleich zur Variante 4.1 wurde jedoch der städtebauliche architektonische Entwurf weiter an den Standort und die spezifischen Nutzungsanforderungen der geplanten Kita angepasst, überarbeitet und weiterentwickelt. Das neue Kitagebäude wird im Gegensatz zur Variante 4.1 mit zeilenförmigem strikt zweigeschossigem Baukörper in der überarbeiteten Variante 4.2 in drei in Höhe und Tiefe zueinander und ebenfalls nach Südwesten ausgerichteten Baukörpern ausgeführt.

Im Vergleich zu der Variante 4.1 können in der finalen Variante 4.2 zwei Dachbereiche von den Kindern als Spiel- bzw. Pflanzgärten genutzt werden, was einen großen Nutzungsvorteil und räumlichen Zugewinn bedeutet. Die Innengebäude unter der Klimahülle werden wie in der Vorgängervariante aus vorgefertigten Modulen aus Infralichtbeton erstellt. Somit entsteht in der Klimahülle ein offener, flexibler und variabel nutzbarer Innenraum in und um das innenliegende Kitagebäude.

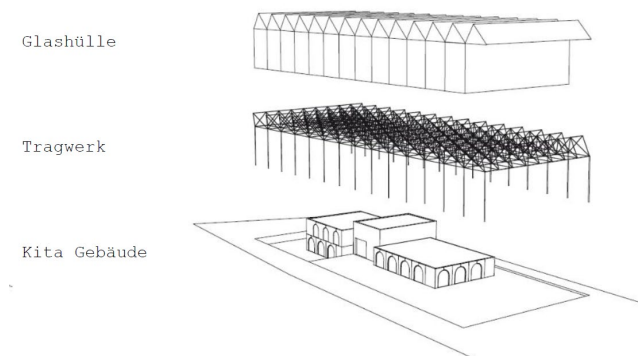


Abb.60: Komponenten Klimahülle Variante 4.2

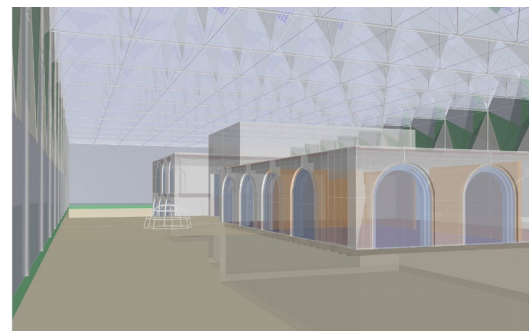


Abb.61: Klimahülle Innenraum Variante 4.2



Abb.62: Grundriss Erdgeschoss Kita mit Klimahülle, Variante 4.2

Die Klimahülle für 120 Kinder hat auch in der überarbeiteten Variante 4.2 eine Grundfläche von ca. 1.515 m², eine pädagogische Nutzfläche (NUF) von ca. 520 m² ohne und ca. 2.000 m² mit Klimahülle und eine Luftvolumen (LNUF) von ca. 13.000 m³.

Der wichtigste Vorteil der Variante 4.2 ist neben der erhöhten pädagogischen Nutzfläche das Schaffen von zwei separaten Dachgärten. Auch die baukörperliche Trennung von Kita- und Krippenbereich, welche durch einen gemeinsamen, hellen und großzügigen Erschließungsraum (Foyer) verbunden sind, stellt eine deutliche räumliche und funktionale Verbesserung gegenüber der Variante 4.1 dar.

Die Erschließung der Kita- und Krippenbereiche findet direkt aus der Klimahülle statt. Gruppen- und Spielräume sind nach Südwesten orientiert, Nass- und Küchenbereiche nach Norden. Es gibt keine Flure, sondern großzügige, flexibel miteinander nutzbare, licht- und luftdurchflutete Räume.

Im Längsschnitt sind die in offenen Halbgesschoßen (split-level) zueinander versetzten Gebäudeebenen der Variante 4.2 zu erkennen, die im Gegensatz zur Variante 4.1 die Nutzung zweier Dachgärten ermöglichen. Der größere Dachgarten über dem Krippenbereich dient als flexibel nutzbarer Raum für Sport, Spiel und Bewegung und ist direkt über eine Freitreppe mit der Erdgeschoßebene verbunden. Der kleinere Dachbereich wird als Garten genutzt.



Abb.63: Längsschnitt Kita mit Klimahülle, Variante 4.2

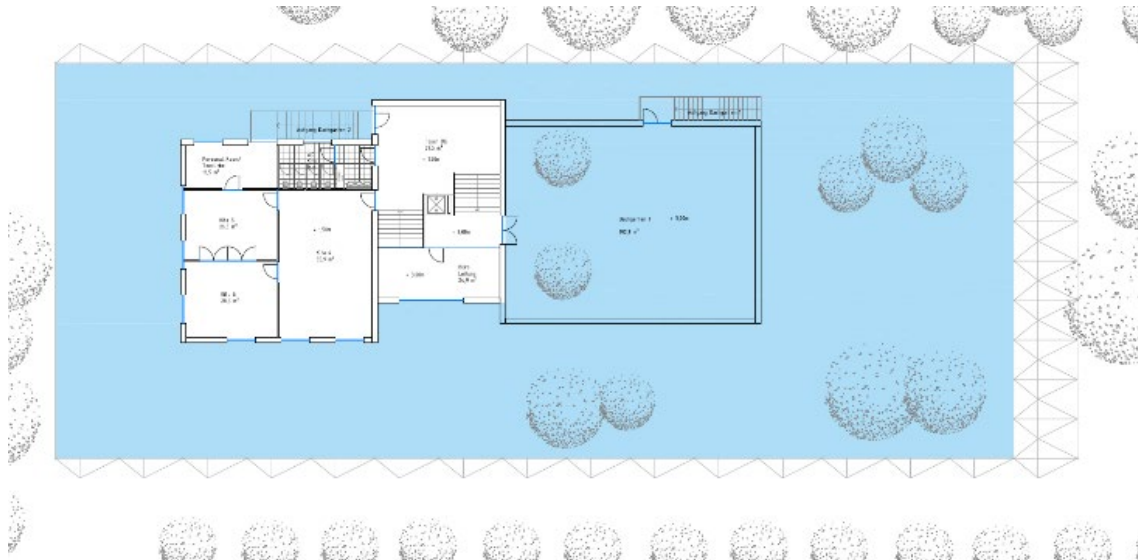


Abb.64: Grundriss 1. Obergeschoss Kita mit Klimahülle, Variante 4.2

Im Grundriss des Obergeschosses kann man die räumliche Weiterentwicklung der Variante 4.2 gut erkennen: Verbunden durch das gemeinsame Foyer können sowohl Kita- als auch Krippenkinder schnell und übersichtlich zu den beiden Dachgartenbereichen gelangen. Ein Aufzug verbindet die jeweiligen Ebenen sowohl behindertengerecht als auch bequem zum Transport von Material oder Pflanzen. Der Erschließungsbaukörper besitzt im Gegensatz zu den Kita- und Krippenräumen, die nur kleinere Oberlichter besitzen, eine vollflächige, transluzente Decke und kommt somit wie alle anderen Räume größtenteils ohne Kunstlicht aus. Im Untergeschoss befinden sich, wie bereits in der Variante März, Personal-WCs und Umkleiden, Hausmeister- und Lagerraum, sowie Server- und Haustechnikräume.

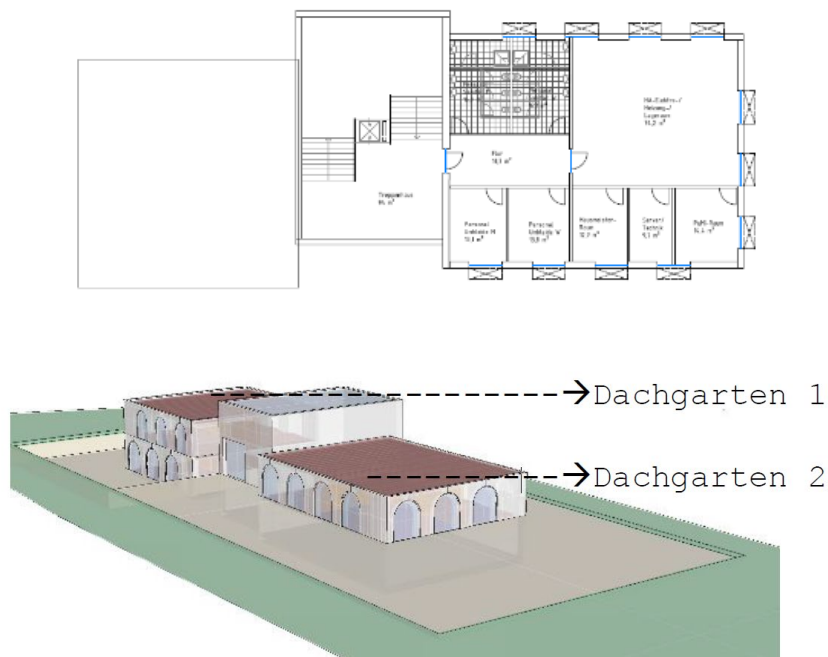


Abb.65: Grundriss 1. Obergeschoss Kita mit Klimahülle, Variante 4.2

Abb.66: Isometrie Kita mit Klimahülle und 2 Dachgärten, Variante 4.2



Abb.67: Innenraumperspektive Kita mit Klimahülle, Variante 4.2

Der Klimahülleninnenraum zeichnet sich in der Variante Mai mit dem spielerischen Versatz der drei Baukörper durch eine neue Leichtigkeit und interessante Beziehungen zwischen den jeweiligen Ebenen und Räumen zueinander aus. Die verschiedenen Nutzungsbereiche von Krippe und Kita verschmelzen somit zu einer gemeinsam nutzbaren und räumlich ganzheitlich erfahrbaren Verbindung von Innen- und Außenräumen.

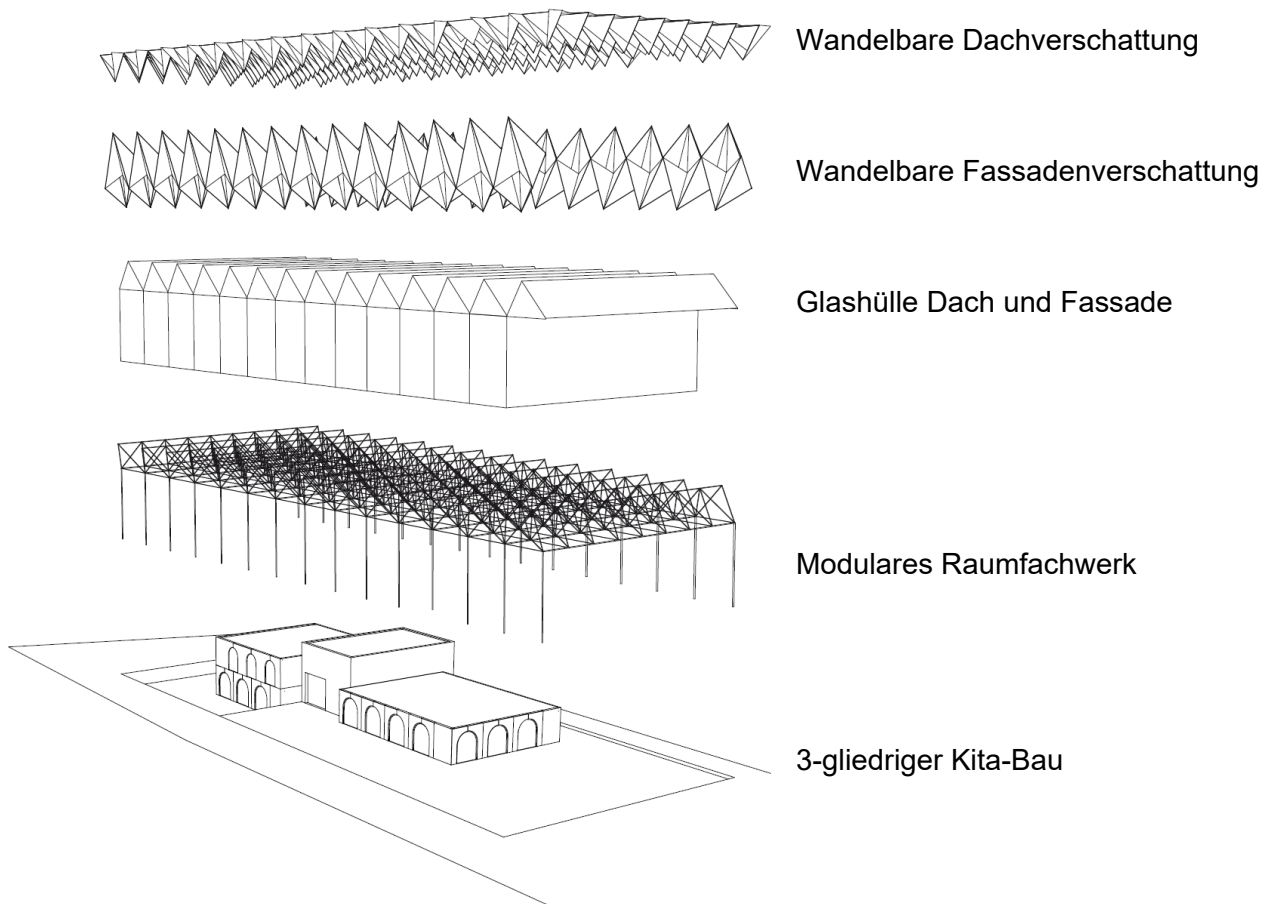


Abb.68: Komponenten Kita mit Klimahülle, Variante 4.2

4.2.1 Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit

Das Haupttragwerk für die Klimahülle wird auch in der überarbeiteten Variante 4.2 durch eine Stahlkonstruktion gebildet. Die Fachwerkbinder aus Stahlrohren überspannen die freie Fläche nun jedoch in Querrichtung (Nord/Süd), wodurch ein stützenfreier Klimahüllenraum geschaffen wird. Die Stützen befinden sich ausschließlich an den Längsseiten und leiten die Vertikallasten aus der Überdachung hier zu den Fundamenten.

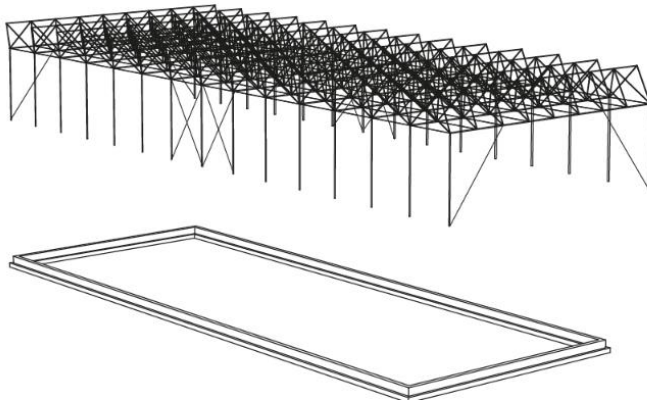


Abb.69: 3D-Modell Tragwerk und Fundament

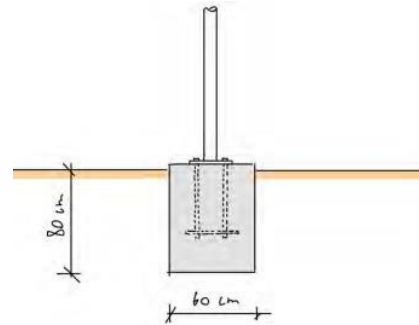


Abb.70: Skizze Gründung

Neben der Aufgabe, ein effizientes und leicht realisierbares Tragwerk darzustellen, dient die geometrische Form der Konstruktion zugleich funktional der Aufnahme der Verschattungs-, Lüftungs- und Solarenergie-Elemente.

Die Anforderungen an die Klimahülle bezüglich:

- Leichtigkeit und Transparenz
- Materialeffizienz und Ressourcenschonung
- Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit
- Einfache Montage und hoher Vorfertigungsgrad

werden durch die Anpassungen somit in statisch-konstruktiver Hinsicht erfüllt.

Die Lastannahmen der tragenden Bauteile werden materialspezifisch gemäß DIN EN 1991 angenommen. Ständig wirkende Ausbaulasten werden für die Klimahülle wie folgt angesetzt: Gewicht der Verglasung: $g_{k,1} = 0,5 \text{ kN/m}^2$, Gewicht der Verschattungselemente und PV: $g_{k,1} = 0,25 \text{ kN/m}^2$. Für das Kitagebäude wird eine Ausbaulast von auf $g_{k,1} = 1,0 \text{ kN/m}^2$ für alle Fußbodenflächen angenommen.

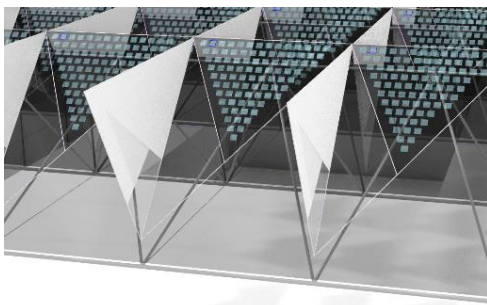


Abb.71: Dachintegrierte PV



Abb.72: 3D- wandelbare Verschattung

Das Tragwerk ist modular aufgebaut und besteht aus 15 baugleichen Modulen. Hierdurch kann ein sehr hoher Vorfertigungsgrad erreicht werden. Durch die gewählte Stahlbauweise sind alle bauseitigen Verbindungen einfach und schnell z.B. durch Verschrauben zu bewerkstelligen.

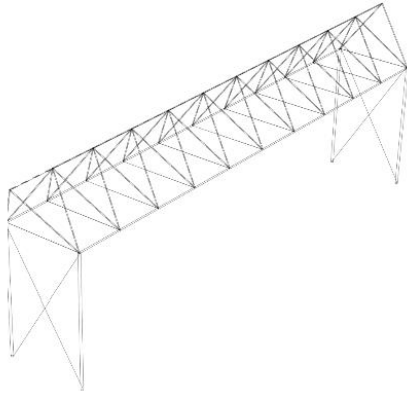


Abb.73: Primärtragwerksmodul

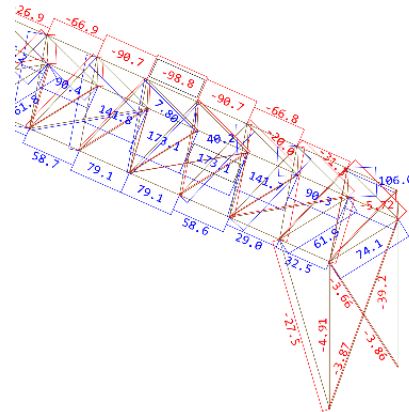


Abb.74: FE-Modell Tragwerk

Werkstattseitig werden die Elemente in den größtmöglichen transportablen Maßen vormontiert, um auf der Baustelle möglichst geringe Nacharbeiten zu haben. Gleichzeitig lassen sich dadurch die Bauleranzen ideal kontrollieren und Abweichungen minimieren. Für die Gründung der Dachkonstruktion werden Streifenfundamente aus Stahlbeton verwendet. Die Streifenfundamente binden frostsicher in den anstehenden Baugrund ein. Die Dachkonstruktion der Klimahülle ist nur zu Wartungszwecken begehbar. Daher treten hier nur einzelne Mannlasten auf. Diese werden gegenüber den Schnee- und Windlasten nicht maßgeblich.

In den Kita- und Krippenflächen wird eine Nutzlast von jeweils 3,50 kN/m² auf alle Fußbodenflächen angenommen. Im Bereich von Fluchtwegen und Küchenbereichen wird eine Nutzlast von 5,00 kN/m² angenommen. Für die Abdichtung der erdberührenden Bauteile im Souterrain der Einbauten ist in der weiteren Planung eine Bedarfsplanung für die Abdichtung zu entwickeln. Für die Einbauten sind modulare Infraleichtbeton-Fertigteile vorgesehen. Dieser Beton zeichnet sich durch eine sehr geringe Rohdichte von 800 kg/m³ und seine hervorragenden Wärmedamm-, Schallschutz und Raumklimaeigenschaften aus. Infraleichtbeton lässt sich monolithisch, also fugenlos, in Fertigteil- und Ort betonbauweise verarbeiten. Mit einer Fertigteilbauweise ließe sich ein hoher Vorfertigungsgrad erreichen, wodurch sich die Arbeiten auf der Baustelle verkürzen lassen.

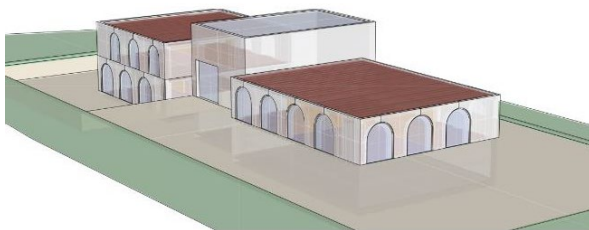


Abb.75: Modulares Gebäudeensemble

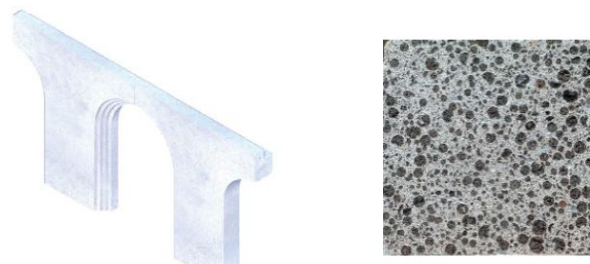


Abb. 76/ 77 Fertigteile aus Infraleichtbeton []

Die Glasfassade der Klimahülle ist mit 3-fach-Glas geplant, das nichtsdestotrotz einen hohen Lichtdurchlassgrad von 90 % aufweist. Der U-Wert beträgt $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Decken und Böden der Kitaräume werden simuliert als Fußbodenheizungsböden. Für die Wände wird 30 cm Infralichtbeton angenommen. Für die großflächigen Glasfronten der Kitaräume ist ein Wärmeschutzglas mit einem U-Wert von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgesehen. Dieses hat eine Lichtdurchlässigkeit von etwa 80 %. Der Boden der Klimahülle sollte zum einen nicht zu dunkel sein, um ein starkes Aufheizen zu vermeiden. Zum anderen sollte er Feuchtigkeit aufnehmen und speichern können, beziehungsweise nicht zu viel Feuchtigkeit erzeugen.

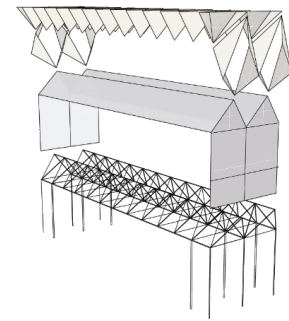
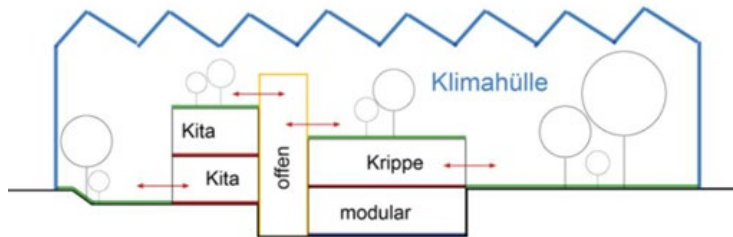


Abb.78: Schema Baukörper Kita mit Klimahülle

Abb.79: Isometrie Kita Komponenten der Klimahülle

Die Verschattung wird außerhalb der Klimahülle angebracht. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus fest installierten und variablen Elementen, die sich entsprechend einstellen lassen. Durch die Höhe der Verschattung auf Ost- und Westfassade besteht keine Gefahr für die Kinder, sich im Verschattungs-Mechanismus einzuklemmen.

Die Verschattung der Klimhüllenfassade besteht aus einer wandelbaren, mikroperforierten Verschattung in Dachebene und variablen, opaken Elementen in Fassadenebene.

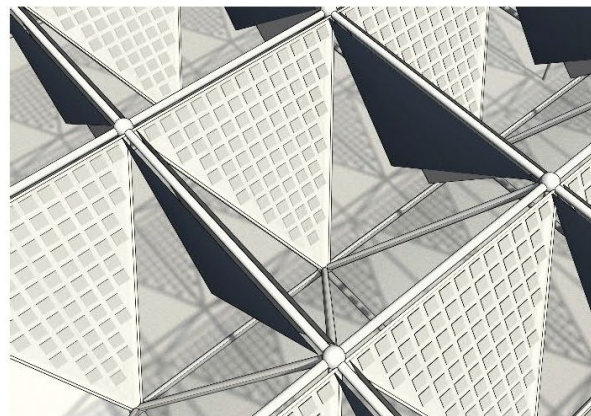
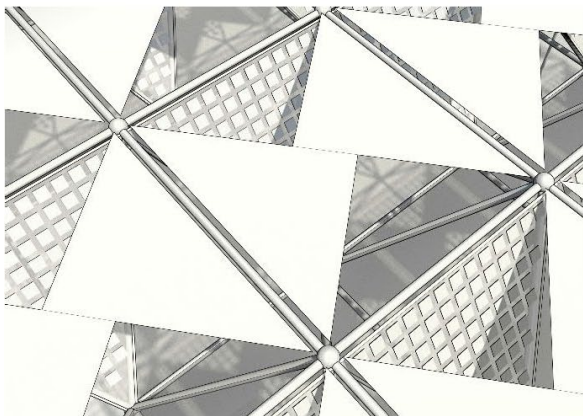


Abb.80: Verschattung in der Pos.1 offen

Abb.81: Verschattung in der Pos.2 geschlossen

Um die Verschattung auf dem gesamten Dach synchron zu- und aufzumachen, wurde ein einfaches Bewegungssystem implementiert und entwickelt.

Somit kann die ganze Verschattung mit nur einer Kraftquelle angetrieben werden. Der Antrieb selbst wird über eine Translationsbewegung auf dem Stab, der an die Hebelarme gelenkig angeschlossen ist, bewegt. Diese Variante wurde in einem Physischen Modell implementiert und geometrisch, sowie vom Bewegungsablauf her entwickelt und getestet (siehe Abb. 82).

Das wandelbare Verschattungssystem kann somit passgenau auf das Design und die Geometrie des neu entwickelten Sheddachs der Klimahülle angewendet werden.

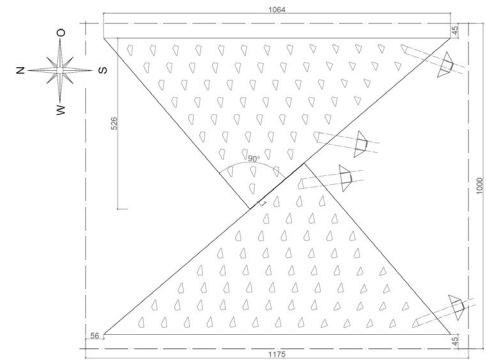
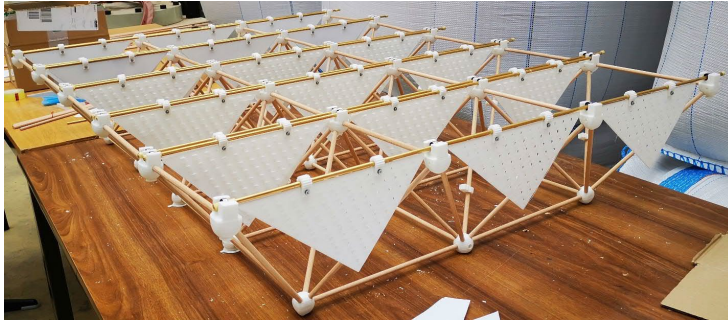


Abb.82: Modell der wandelbaren Dachverschattung in der Pos.2 geschlossen (links)

Abb.83: Positionierung und Perforierung der Verschattungsdreiecke in einem Feld (rechts)

Anhand der Untersuchungen an dem Vorentwurf der Klimahüllengeometrie und konstruktiven Durchbildung, konnte ein Algorithmus zur Abhängigkeit der Geometrien zwischen dem Primärtragwerk und dem Sekundärtragwerk (Fassadenverschattung) entwickelt werden. Durch diesen Algorithmus ist es möglich die Geometrien vom Haupttragwerk so zu wählen, dass keine Kollisionsprobleme zwischen der wandelbaren Fassadenverschattung und dem Haupttragwerk bestehen.

Die Entwicklung eines Sonnenschutzsystems für die Klimahülle mittels wandelbarer Verschattung bedingt, dass die Fassade die Rahmenbedingungen einer energetischen Klimahülle erfüllt und zugleich neben einem stabilen Rahmen auch ausreichend Steifigkeit gegenüber Windlasten aufweist. Die Konstruktion wurde so durchgebildet, dass sich die Lasten zwängungsfrei verteilen können und sich somit eine symmetrische Spannungsverteilung erschließt. Des Weiteren wurde ein System für den Bewegungsmechanismus der beweglichen Dreiecke entwickelt. Durch ein einfaches Seilzugsystem ist es möglich mit nur einer Seilwinde die Dreiecke in die entsprechenden Zustände zu ziehen.

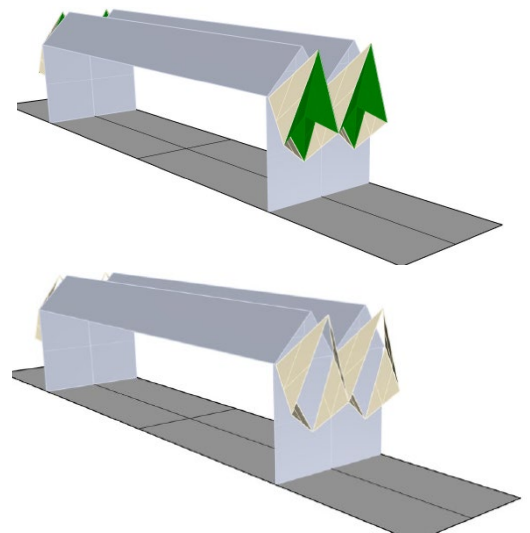
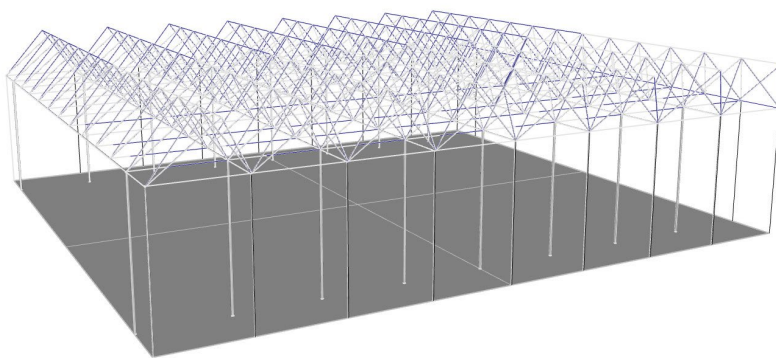


Abb.84: Isometrie Tragwerk für vorgegebene Fassadengeometrie (links)

Abb.85: Isometrie; Zustand "Geschlossen" mit starren (beige) & beweglichen (grün) Elementen (rechts oben)

Abb.86: Isometrie; Zustand "Offen" mit starren Elementen (rechts unten)

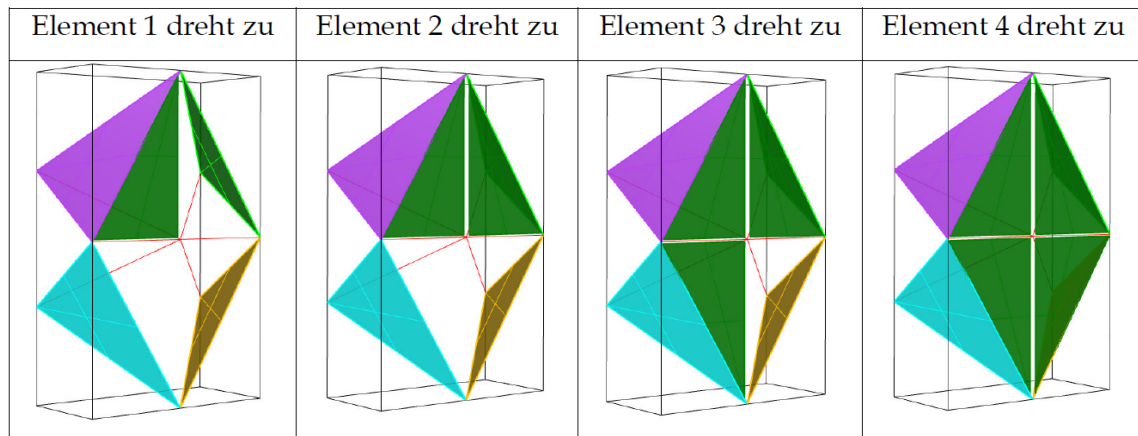


Abb.87: Systematischer Bewegungsablauf der beweglichen Fassadenmodule

Die Fassadenverschattung besteht aus Dreieckselementen, wobei vier Elemente davon starr sind und das feste Gehäuse der Verschattung bilden. Genauso besitzt jedes dieser Dreiecke an der Innenseite ein identisches bewegliches Dreieckselement, welches sich zur Mitte (dem gemeinsamen Berührungspunkt aller vier beweglichen Elemente) hindreht.

Geöffneter Zustand – Zustand I - „Die Fassade ist aufgeklappt“: Unter diesem Begriff wird der Zustand der Verschattung bezeichnet, in der die Bleche aufgeklappt sind und somit die Sonne in die Klimahülle eindringen kann. Geschlossener Zustand – Zustand II - „Die Fassade ist zugeklappt“: In diesem Fall fahren die beweglichen Elemente aus und verhindern, dass die Sonneneinstrahlung in die Klimahülle eindringt und somit an heißen Tagen diese nicht aufheizt. Dennoch soll durch die Materialwahl aus Microlochblechen für genug Tageslicht gesorgt werden. Wie in der Abbildung zu sehen, geben die roten Pfeile die Ziehrichtung des Seils an. Dabei wird das Seilende an der Dreiecksspitze auf der außenliegenden Dreiecksseite montiert. Nun wird das Dreieck durch Bewegen der Seilwinde von Punkt 1 zu Punkt 2 gezogen. Um diese Bewegung zu gewährleisten, muss das Seil um den Ring gelenkt werden. Ziel ist es das Seil in den Ring hineinzuführen und im Ring zur Seilwinde umzulenken. Somit ist es möglich mithilfe der Seilwinde das Dreieck in den geschlossenen Zustand zu bekommen. Das gleiche Prinzip findet für alle anderen Dreiecke auch statt. (siehe Abb. 89)

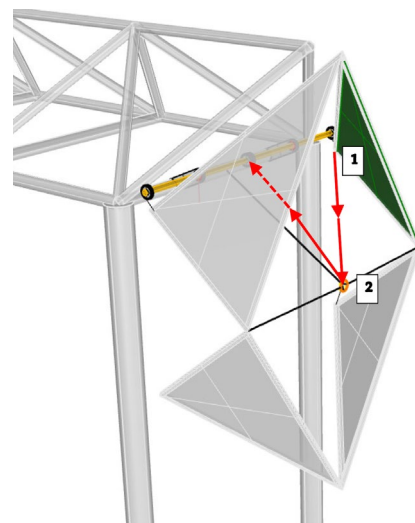


Abb.88: Modell (M1:20) der wandelbaren Dachverschattung in den 3 Zuständen (links)
 Abb.89: Isometrie Seilzug; Bewegungsablauf eines einzelnen Dreiecks; offen (rechts)

4.2.2 Energie- und Klimatechnik

Wie in Abb. 90 zu sehen ist, spielen verschiedene Elemente zusammen, um in Kita und Klimahülle ein angenehmes Klima zu schaffen, so dass sowohl die Innenbereiche als auch die Bereiche direkt unter der Klimahülle über das Jahr optimal genutzt werden können. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Aspekt der Nachhaltigkeit.

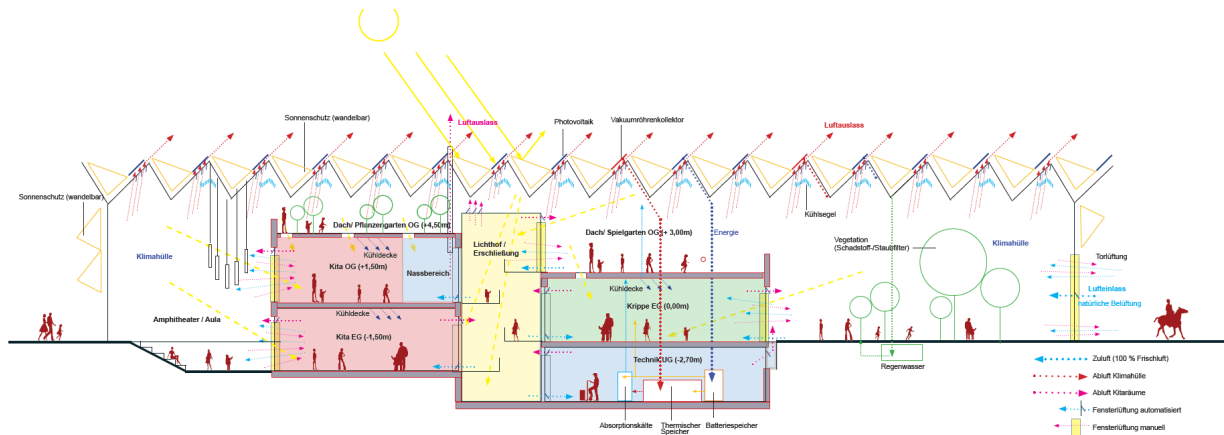


Abb.90: Konzeptskizze der wesentlichen Komponenten des Energie- und Klimakonzeptes

Die Kombination aus manueller und automatischer Lüftung stellt eine ausreichende Versorgung mit Frischluft sicher und steigert das Wohlbefinden. Großflächige Lüftungsöffnungen garantieren einen guten Luftaustausch mit der Umgebung. Fußbodenheizung und Kühldecken sorgen aufgrund von Strahlungswärme für ein angenehmes Raumklima. Dabei können die Temperaturen im Heiz- bzw. Kühlkreislauf niedrig gehalten werden, weshalb sich dieses System gut für die Kombination mit Absorptionskältemaschine und thermischem Speicher eignet.

Ein intelligentes, wandelbares Sonnenschutzsystem sorgt im Sommer für günstige Verschattung, während im Winter die solare Wärme genutzt wird, um die Klimahülle natürlich zu heizen. Photovoltaik-Elemente erzeugen elektrische Energie, während thermische Solarkollektoren der Erzeugung thermischer Energie dienen. Die von Photovoltaik und thermische Solarkollektoren erzeugte Energie wird im Technikraum gespeichert. So können zeitliche Differenzen zwischen Erzeugung und Bedarf ausgeglichen werden.

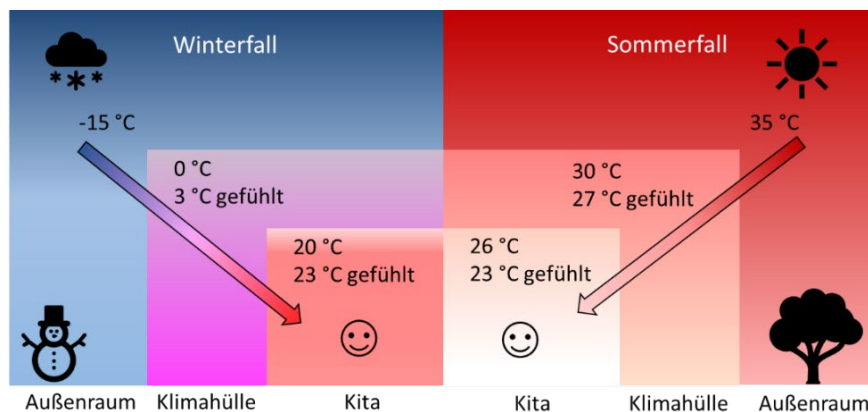


Abb.91: Temperierung von Klimahülle und Innenräumen [Anhang A2]

Die Temperierung von Klimahülle und Innenräumen erfolgt nach dem in Abb. 91 gezeigten Prinzip. Durch die großflächige Heizung bzw. Kühlung wird die Raumtemperatur wärmer bzw. kühler wahrgenommen. Einen Sonderfall bildet hier das großzügige Treppenhaus, das lediglich auf 5 °C geheizt und auf 30 °C gekühlt werden soll.

Die Verschattung wird außerhalb der Klimahülle angebracht. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus fest installierten und variablen Elementen, die sich entsprechend einstellen lassen. In einem weiteren Schritt wurden die Verschattungselemente aktualisiert, so dass eine komplette Verschattung durch die Hecken im Sommerfall simuliert wurde und die Verschattungselemente im Dach keine Solarstrahlung transmittieren.

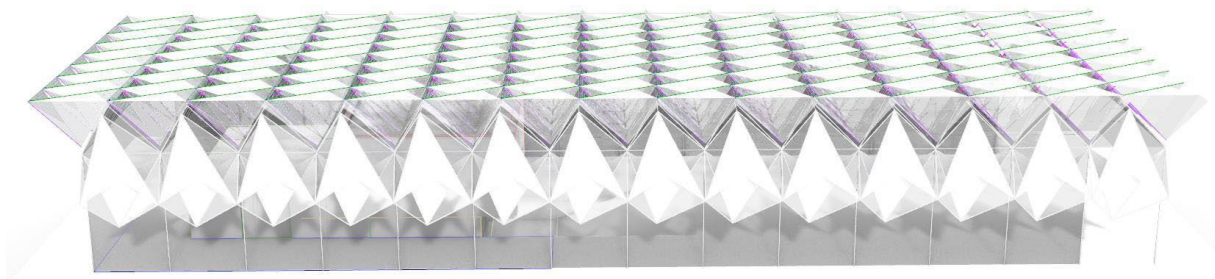


Abb. 92 Wandelbare Verschattung der Klimahüllenfassade / Westseite

In diesem Fall wurde auch das Treppenhaus auf 26 °C gekühlt. Damit ergeben sich die folgenden aktualisierten Werte für den Kühlenergiebedarf von Kita und Klimahülle von lediglich 10,5 MWh (siehe auch Anhang A2 zum Themenbereich: Energie und Klimatechnik). Um eine natürliche Lüftung der Klimahülle zu ermöglichen und sicherzustellen, dass durch die Klimahülle keine zusätzlichen technischen Apparate nötig werden, wurden Temperaturbetrachtungen der Klimahülle durchgeführt. Es wurde mit einer Öffnungsfläche der Klimahülle von 5 % über die gesamte Ost- sowie Westfassade gerechnet, sowie einer Öffnungsfläche von 5 % auf der nach Norden gerichteten Seite aller Sheds. Zusätzlich ist bei Bedarf eine Öffnung der Tore im Norden und Süden der Klimahülle möglich. Die Fenster der Schulräume selbst sind während den Betriebszeiten zwischen 8 und 18 Uhr jede Stunde für 10 Minuten zu öffnen. Als Lüftungskonzept ist durchgehend natürliche Lüftung vorgesehen. Zusätzlich kann die Steuerung mit Temperaturmessgeräten kombiniert werden, so dass intelligent gesteuert werden kann, wodurch die benötigte Kühl- und Heizenergie minimiert wird.

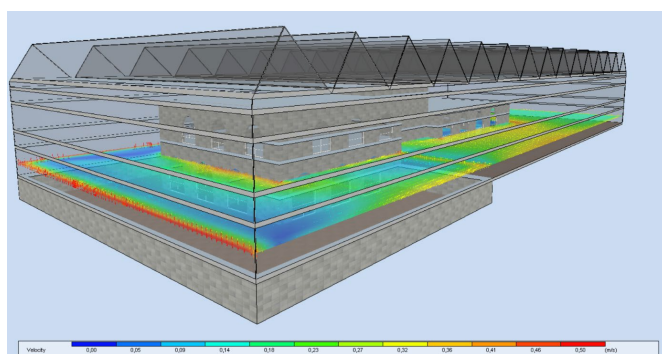
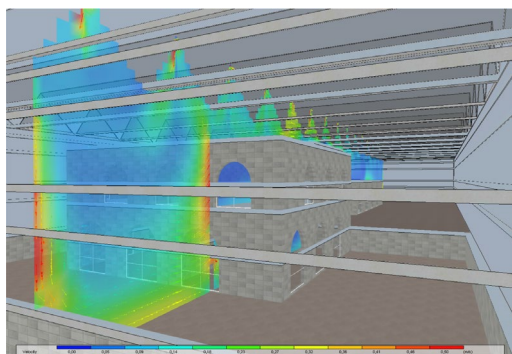


Abb.93: Strömungssimulation: Geschwindigkeitsquerschnitt längs, mittig (links)

Abb.94: Strömungssimulation: Geschwindigkeitsquerschnitt auf 1 m Höhe (rechts)

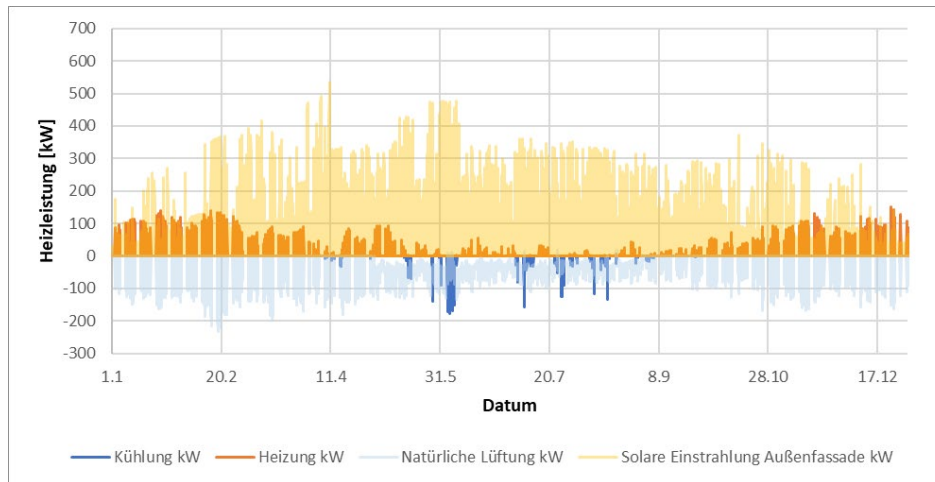


Abb.95: Verlauf der jährlichen Heiz- und Kühlleistungen

Zur Stromversorgung der Klimahülle und der Schulräume sind PV-Module auf den Süd-Sheds der Klimahülle vorgesehen. Da die thermischen Solarkollektoren ein bis zwei Sheds in Anspruch nehmen, bleiben 14 Sheds für PV-Module. Ein PV-Modul wie in Abb. 96 zu sehen hat eine Gesamtfläche von etwa 2,73 m². Insgesamt ergeben sich somit 1,7 m²/PV-Modul x 10 Module/Shed x 14 Sheds ≈ 238 m².

Im Falle einer standardmäßigen Dachaufbringung von PV-Modulen sind diese möglichst mit 10 bis 20 cm Abstand zum Dach selbst aufzubringen, um eine ausreichende Hinterlüftung zu gewährleisten. Auch für den Aufbau auf der Klimahülle kann dieser Wert als Richtwert verwendet werden. Der freie Bereich hinter den PV-Modulen sollte am besten mindestens 20 cm betragen, denn je mehr Abstand vorliegt, desto besser wird die Hinterlüftung sowie generell die Lüftung der Klimahülle gewährleistet.

Eine durchschnittliche Modulleistung liegt bei etwa 185 W/m² (für ein modernes monokristallines PV-Modul sogar 210-240 W/m²). Damit ergeben sich 44 kWp unter der Annahme, dass keine Verluste durch die spezielle Form der Module und Verschattung durch die Verschattungselemente entstehen. Der durchschnittliche Stromertrag in Blankenfelde-Mahlow beträgt 910 kWh/kWp/a. Durch die Ausrichtung in Richtung Süd-Ost mit 45° Neigung ergibt sich eine sehr gute Effizienz von 95 % der theoretisch möglichen Ausbeute bei optimaler Ausrichtung. In einem durchschnittlichen Jahr können demnach 38 MWh elektrischer Energie erzeugt werden. Der Bedarf an elektrischer Energie für die Wärmepumpe liegt in den betrachteten Fällen unter der Jahreserzeugung: (71 MWh Heiz- + Kühlbedarf) / 3,2 JAZ = 22 MWh.

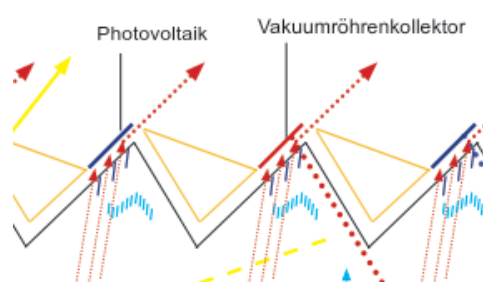
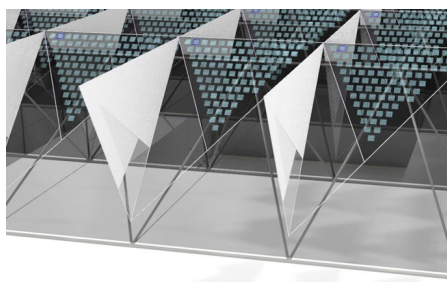


Abb.96: Dachintegrierte PV-Elemente und Verschattungselemente (links)

Abb.97: Schema der hinterlüfteten dachintegrierten PV-Elementen (rechts)

4.2.3 Schallschutz und Raumakustik

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden die bau- und raumakustischen Besonderheiten der Klimahülle erörtert und dargestellt sowie mögliche Maßnahmen zur Optimierung des Schallschutzes innerhalb der Hülle sowie der Raumakustik beschrieben. Ein im Projektverlauf entwickeltes Schaubild mit der Zusammenfassung der Maßnahmen ist in Abb. 98 abgebildet.

Mit den schalltechnischen Maßnahmen ist es möglich eine Reduzierung des Schalleintrages in die Hülle zu bewirken. Es bleibt festzuhalten, dass die Lösungen immer einen Kompromiss darstellen, da durch die direkten Öffnungen der Hülle die Schalldämmung der Hülle maßgeblich geschwächt wird.

Ein intelligentes Außenschallschutzkonzept ermöglicht das Erreichen von max 33,7 db im Überflugmoment (Klimahülle Fenster geschlossen) und max 53,9 db im Überflugmoment (Klimahülle Fenster geöffnet). Der empfohlener Maximalpegel für Innenräume ist 55 db(A). Beim ganzheitlichen Innenschallschutzkonzept kann man zur Veranschaulichung kann man von 20 sehr lauten Kindern aus, die alle gleichzeitig „schreien“ - was dauerhaft ja physiologisch auch nicht durchhaltbar ist. Der Leistungspegel beträgt hierbei LWA = 100 dB(A). Wenn diese 20 Kinder in einem sehr gut absorbierenden Gruppenraum mit ca. 50 qm Grundfläche kurzzeitig laut schreien, dann stellt sich ein Rauminnenpegel von ca. 90 dB(A) ein. In der Klimahülle ist die geplante Absorptionsmenge mindestens 20 Mal größer als in diesem Gruppenraum. Im „Freien“ würden diese 20 Kinder demnach einen Pegel von ca. 75 - 76 dB(A) erzeugen. Bei ca. 1500 qm effektiver Absorptionsfläche stellt sich eine akustische Atmosphäre wie in einem großen Kammersaale ein, wobei die Nachhallzeit kleiner als 1,5 s sein wird.

Zwar reflektieren die Glaswände den Schall, allerdings ist die Situation eine ganz andere als z.B. in einem halligen Schwimmbad. Die „Naturböden“ um das Haus und auf dem Flachdach absorbieren den Kinderlärm praktisch vollständig. Auch die Außenwände der Kita sind hochabsorbierend, und schließlich schlucken auch die geplanten Akustik-Kühl-Lamellen unter der Decke sehr effektiv den Schall. Insgesamt liegt in der Klimahülle ein hoch diffuses Schallfeld vor, welches effektiv die absorbierenden Wirkungen der Schluckflächen optimiert und somit die Geräuschkulisse auf ein ruhiges und höchst akzeptables Maß deckelt. Dies bedeutet lärmgeschütztes und ruhiges Spielen bei Frischluftqualität.

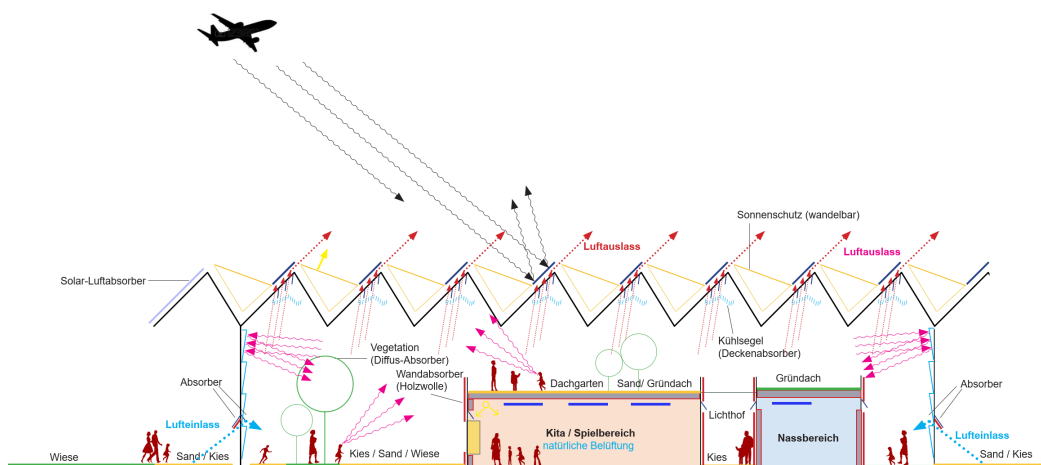


Abb.98: Schema und Zusammenfassung der akustischen Maßnahmen in der Klimahülle

5 Resumé und Ausblick

Der überarbeitete Klimahüllenentwurf dieses Projektes reagiert in seiner Form, Größe und technischen Ausprägung einerseits auf die künftig exponierte Fluglärmsituation, andererseits auf die spezifische und sensible Ensemble-Situation mit Kitagebäude, sowie Klimahüllen- und Außenbereich am Standort der Richard-Wagner-Chaussee in 15827 Blankenfelde-Mahlow.

Im Kapitel 4.1 „Einordnung und Varianten“ Überarbeitung des architektonischen Konzeptes“ wird daher die von den Autoren empfohlene Variante 4.2 hergeleitet und die städtebaulichen und architektonischen Vorzüge gegenüber der Vorgänger-Varianten erläutert. Es wird empfohlen, den ursprünglich zweigeschossigen Kita-Gebäuderiegel ohne Dachgarten in drei räumlich zueinander versetzten Baukörpern aufzulockern und somit zwei für die Kinder zum Spielen und Pflanzen nutzbare Dachgärten zu schaffen. Es entstehen offene, helle und großzügige Kita-Innenräume, in denen die verschiedenen Nutzungsbereiche von Krippe und Kita miteinander verschmelzen. Somit können sich die verschiedenen Bereiche der Klimahülle zu einer gemeinsam nutzbaren und räumlich ganzheitlich erfahrbaren Verbindung von Innen- und Außenräumen zusammenfügen.

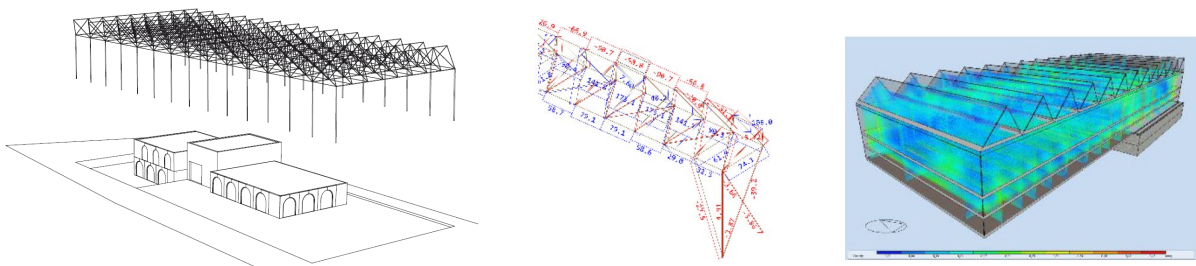


Abb.99: Isometrie Kita+ Hülltragwerk, FE-Berechnung und Klimasimulation der Variante 4.2

In Anlehnung an die vorangegangene Klimahüllenforschung (AZ 31535/01) der Verfasser soll auch die Klimahülle für diesen Kita-Neubau durch ein Zusammenspiel verschiedener Elemente auf nachhaltige Art und Weise temperiert werden. Die Verbindung von innovativem Verschattungskonzept mit Niedrigtemperaturheiz- und Kühlkonzept wird nicht nur in den innenliegenden Kitaräumen, sondern auch im Klimahülleninnenraum ganzjährig für ein angenehmes Raumklima sorgen.

Für den Innenausbau werden aufgrund ihrer hervorragenden bauphysikalischen Eigenschaften sowie den relativ geringen Anforderungen an die Wärmedämmung und Abdichtung Infralichtbetonfertigteile in Kombination mit flachen, vorgespannten Decken empfohlen. Durch den hohen Vorfertigungsgrad sowohl der Klimahülle als auch des modular und vorfabriziert ausgeführten Innenausbaus kann somit eine materialsparende, einfach und schnell zu errichtende, sowie kosteneffiziente Konstruktion erreicht werden.

Der Einsatz eines leichten und wandelbaren Tragwerks in Kombination mit einer speziell darauf abgestimmten Gebäudetechnik spielt bei der Gebäudekonzeption eine zentrale Rolle. Die Klimahülle funktioniert hierbei ganzheitlich als ein funktional, räumlich und technisch sensibel aufeinander abgestimmter Gebäudeorganismus.

Die durchschnittlichen Kosten pro Kitaplatz liegen bei der erforschten Variante mit ca. 48.000 EUR damit trotz der Lärmschutzmaßnahme einer Klimahülle und dem hohem Innovationscharakter des Projektes unterhalb der aktuellen Kosten pro Kitaplatz der Berliner Mo-kib-Kitas– „Modulare Kita-Bauten für Berlin“ des Senats Berlin, bei denen der durchschnittliche Platzpreis 2021 bei knapp 53.300 EUR lag.

Zusammenfassend ermöglichten die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow eine erweiterte Ausschreibungsgrundlage der Planungsleistungen für eine effektiv vor Fluglärm schützende, CO₂-neutrale sowie für Kinder und Erzieher raumklimatisch gesunde und didaktisch inspirierende Kitaneubauvariante mit Klimahülle.

In der Folge wurde auf Basis der Forschungsergebnisse die Leistungsbeschreibung für die Ausschreibung und Vergabe der Planungsleistungen durch den Kooperationspartner die Gemeinde Blankenfelde-Mahlow erarbeitet und schließlich beauftragt. Die Grundidee des Projektes, mit minimalem Material – und Energieaufwand einen vor extremen äußeren Umwelteinflüssen geschützten Raum zu schaffen, der einen Kitaneubau für 120 Kinder und einen verglasten Spielhof unter einer großen, gemeinsamen, kompakten und transparenten Hülle vereint, sollte auch im Planungsprojekt der ARGE übernommen werden.

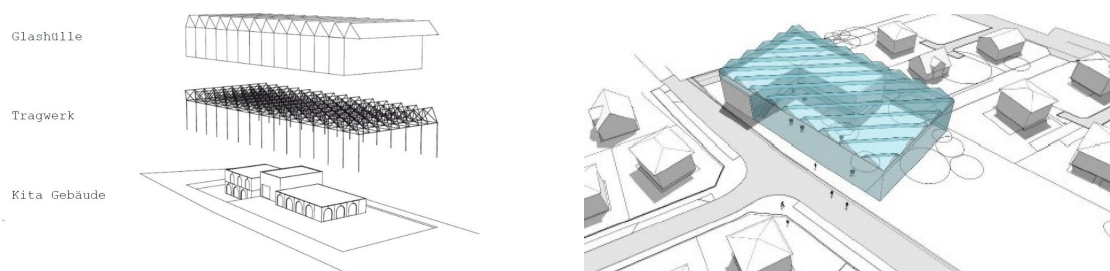


Abb.100 Komponenten der Klimahülle – Forschungsprojekt [A1 Anhang] (links)

Abb.101 Außenraumperspektive der Klimahülle Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] (rechts)

Im Anschluss an die Arbeiten in diesem Forschungsprojekt wurden die Planungen der Kita mit Klimahülle von der ARGE [ARGELP2] überarbeitet. Dabei wurden Geometrie, Materialien und das Betriebskonzept variiert.

Der größte konzeptionelle Unterschied der ARGE-Variante besteht darin, dass die reduzierte Klimahülle des ARGE-Planungsprojektes (Abb. 102) die Kita nicht mehr umfasst, sondern auf einer Seite angekoppelt ist. Dadurch verringert sich der klimatische Schutz für das Hauptgebäude. Die variable Verschattung wurde reduziert, sodass Wärme im Sommer durch aktive Kühlung abgeführt werden muss. In der Ausführungsplanung wird eine andere Dachgeometrie gewählt, bei der die Dachflächen unter 28° geneigt sind. Die Südwest-Fassade des ARGE-Projektes weist große Fensterflächen auf, die für den Winter sehr wünschenswert sind, eine Innenschattung reduziert zwar die Helligkeit, führt aber zu einem Wärmeeintrag, der durch Lüftung und Klimatisierung abgeführt werden muss.



Abb.102 Außenraumperspektive der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] links

Abb.103 Außenraumperspektive der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] rechts

Die Planung der Kita in Leistungsphase 2 des ARGE-Projektes nimmt zwar das wesentliche Konzept des Forschungsprojektes auf:

- Heller, schallgeschützter Raum
- Moderates Klima in der Klimahülle durch regulierte Lüftung, Verschattung und Kühlung

Jedoch ist der Baukörper der Kita im Gegensatz zum Forschungsprojekt von der Klimahülle nicht mehr umschlossen, sodass sich für die Fassade neue Anforderungen ergeben.

Die energetischen Unterschiede liegen im erhöhten Kühlungsbedarf wegen verstärktem Lichteintrag (Shed-Geometrie, Außen/Innen-Verschattung) im Sommer, der die Wärme auf Boden und Grundwasser überträgt. Das LP2-Konzept verzichtet auf Solarthermie und erzielt dafür höhere PV-Stromerträge. (siehe auch Anhang A2)

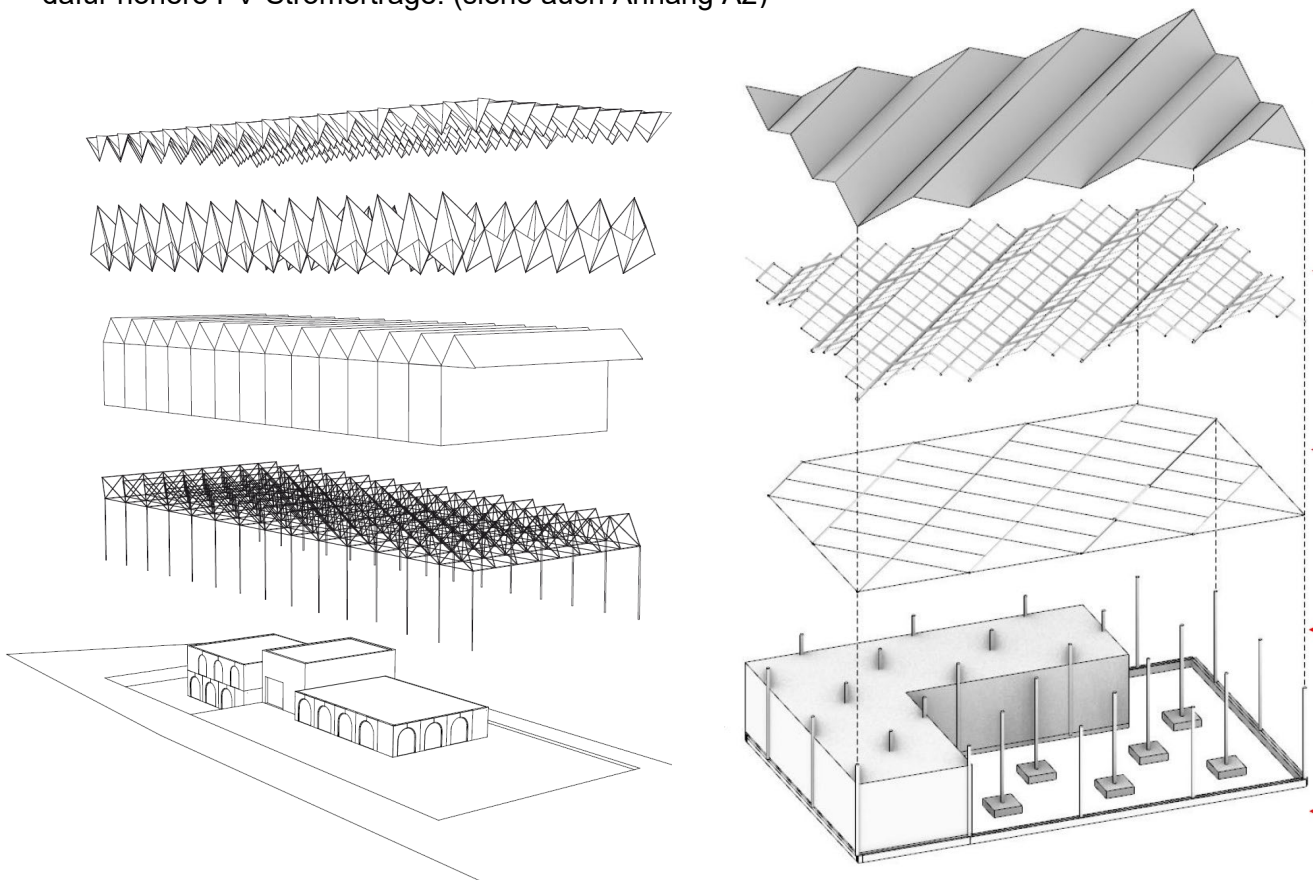


Abb.104 Komponenten der Klimahülle – Forschungsprojekt [A1 Anhang] links

Abb.105 Komponenten der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] rechts

Die architektonischen und räumlichen Unterschiede betreffen hauptsächlich die Ausführung und Gestaltung des Klimahülleninnenraumes in Korrespondenz mit den innenliegenden Kitaräumen. Während im Forschungsprojekt der Hauptaugenmerk auf der Grundidee mit minimalem Material – und Energieaufwand einen fluglärmgeschützten Raum zu schaffen, der einen Kitaneubau für 120 Kinder und einen verglasten Spielhof unter einer großen, gemeinsamen, kompakten und transparenten Hülle vereint, lag, wurde dieses Konzept beim ARGE-Projekt grundlegend geändert.

Hier wurde statt einer stützenfreien, ganzheitlichen Überspannung der Kita-Räume L-förmiger Baukörper an der nordwestlichen Ecke des Grundstücks vorgesehen. Der verglaste ebenso L-förmige Teil des Kitainnenraumes fungiert in diesem Entwurf eher als angedockter, großer Wintergarten an die mit dem Innenraum verbundenen Kitaräume. Auch kann in dieser Variante nicht wie im Forschungsprojekt vorgesehen eine Nutzung internen Dachterrassen mit Blick- und Wegebeziehung zum Klimahülleninnenraum erfolgen. Auch die Möglichkeit eines ungehinderten Umlaufs um die Kitaräume im Inneren der Klimahülle bleibt den Kindern bei diesem Entwurf verwehrt.



Abb.106 Innenraumperspektive der Klimahülle – Forschungsprojekt [A1 Anhang] links
Abb.107 Innenraumperspektive der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] rechts

Die innenräumliche Maxime eines freien und stützenfreien Klimahülleninnenraumes als Spiel und Kommunikationsfläche wurde im Planungsprojekt der ARGE zugunsten eines Tragwerks aus Baumstützen und Freitreppen aufgegeben. Die subjektive Beurteilung des architektonischen Konzeptes obliegt dem/r Leser/in. Schließlich wurde der von der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow in Auftrag gegebene Planungsauftrag nach der durch die Planungs-ARGE ausgeführte Leistungsphase 2 aus Kostengründen durch die Gemeindevertretung nicht mehr weiterverfolgt.

Abschließend kann vom Projektteam der Kooperationspartner dennoch ein positives Fazit des Folgeprojektes gezogen werden.

Sämtliche Arbeitspakete wurden, sogar in 2 Projektphasen vollumfänglich erarbeitet. Denn die innovative Weiterentwicklung von der passiven zur aktiven und wandelbaren Klimahülle konnte in jedem der Bereiche Tragwerk, Energie und Schallschutz erreicht und deutlich verbessert werden. Der Aspekt der Wandelbarkeit macht die Klimahülle nutzerfreundlicher und deutlich nachhaltiger im Betrieb. Der Aspekt des Lärmschutzes erhöht den Grad des Wohlfühlfaktors und konnte in dem Projekt konstruktiv verbessert, analytisch nachgewiesen und ganzheitlich deutlich weiterentwickelt werden. Das verbesserte Raumklima und die verbesserte Luftqualität, welche durch einen steten Luftaustausch und Frischluftzufuhr ermöglicht wird, verhindert zudem die Ausbreitung von Krankheiten und die Ansteckungsgefahr der Kinder in der Kita. Die aktive Nutzung der Solarenergie senkt nachgewiesenermaßen (siehe Anhang A2) die Betriebskosten und entlastet die Umwelt.

Somit konnte der Gemeinde Blankenfelde-Mahlow insgesamt ein überzeugendes Forschungskonzept mit entsprechenden Ergebnissen für eine erfolgreiche Ausschreibung der Planungsleistungen erarbeitet und zur Verfügung gestellt werden. Diese Ergebnisse können in ihrer in dieser Form einmaligen ganzheitlichen Betrachtung von Klimahüllen für emissionsbelasteter Nutzungen wie Kitas, Schulen und Seniorenheimen als explizites Vorbild und Basis für weitere spezifische Studien und Projekte dienen.

6 Abbildungsverzeichnis

- 01 Luftbild der Kita Tabaluga [2] S.1
- 02 Luftbild Klimahülle für Kita Neubau [TU Berlin] S. 1
- 03 Kita- neuer Dachgarten [3] S.2
- 04 Klimahülle im Stadtgefüge [3] S.2
- 05 Schematisches Klimakzept [3] S.2
- 06 Schema eines Lärmschutzfensters [3] S.2
- 07 Innenraumperspektive Vorentwurf Projekt AZ 31535/01-25 [3] S.3
- 08 Innenperspektive Projektphase 1 [TU Berlin] S.3
- 09 Innenperspektive Projektphase 2 [TU Berlin] S.3
- 10 Innenperspektive Planungsprojekt ARGE [Anhang A4] S.3
- 11 Klimakzept - schematischer Schnitt Sommersituation (AZ 31535/01-25) [3] S.4
- 12 Klimakzept Projektphase 2 - schematischer Schnitt Sommer (AZ 31535/02-25) [TU Berlin] S.4
- 13 Bestandteile der Klimahülle (AZ 31535/01) [3] S.5
- 14 Rendering Fassadenverschattung [3] S.5
- 15 Bestandteile der Klimahülle (AZ 31535/02-25) [TU Berlin] S.6
- 16 Fassadenverschattung (AZ 31535/02-25) [TU Berlin] S.6
- 17 Klimakzept - schematischer Schnitt Wintersituation (AZ 31535/01-25) [3] S.7
- 18 Transmitt. Sonnenstrahlung durch die Fenster mit/ ohne Sonnenschutz [3] S.8
- 19 Klimakzept - schematischer Schnitt Wintersituation (AZ 31535/02-25) [TU Berlin] S.8
- 20 Zukünftige Flugrouten des BER (rot) und Standort Kita-Tabaluga (grün) [3] S.8
- 21 Schall-Reflexionspfade in der Klimahülle, Ansicht von vorn [3] S.8
- 22 Foto der „Schallmembran“ im Fensterprüfstand [3] S.9
- 23 Skizze Schallmembran mit mikroperforierten Folien [3] S.9
- 24 Prinzipskizze der akustischen Maßnahmen (AZ 31535/02-25) [TU Berlin] S.9
- 25 Tragwerk und Glashülle der Klimahülle (AZ 31535/01-25) [3] S.10
- 26 Tragwerk und Glashülle der Klimahülle (AZ 31535/02-25 + alle folgenden Grafiken) [TU Berlin] S.10
- 27 Volumen und Geometrie der Klimahülle mit Sheddachprinzip [TU Berlin] S.11
- 28 Tragwerk und Glashülle der Klimahülle [TU Berlin] S.11
- 29 Proportion der Hülle mit „goldenem Schnitt“ [TU Berlin] S.11
- 30 Innenausbau der Kita Tabaluga mit Klimahülle (blau) [TU Berlin] S.12
- 31 Skizzen- integrierter Sonnenschutz geöffneter Zustand [TU Berlin] S.12
- 32 Skizzen- integrierter Sonnenschutz geschlossener Zustand [TU Berlin] S.12
- 33 Temperatur Klimahülle und Außentemperatur, Februar [TU Berlin] S.13
- 34 3D-Konturen der Geschwindigkeitsverteilung am 07.06., 16 Uhr [TU Berlin] S.14
- 35 Geschwindigkeitsvektoren an der Westfassade, in Bodennähe [TU Berlin] S.14
- 36 Geschwindigkeitsquerschnitt auf 1,30 m Höhe [TU Berlin] S.15
- 37 3D-Konturen der Geschwindigkeitsverteilung, Variante 2 [TU Berlin] S.15
- 38 Klima- und Energiekonzept schematisch [TU Berlin] S.15
- 39 Schematische Darstellung Schallschutzmaßnahmen der Klimahülle [Anh.A3] [TU Berlin] S.16
- 40 Handskizze mit Wirkprinzip Zuluft [Anhang A3] S.16
- 41 Komponenten der Klimahülle über der Kita Tabaluga mit neuem Dachgarten [TU Berlin] S.17
- 42 Innenraumperspektive der Klimahülle über der Kita Tabaluga [TU Berlin] S.17
- 43 Innenraumperspektive der Klimahülle über der Kita Tabaluga [TU Berlin] S.18
- 44 Außenraumperspektive der Klimahülle über der Kita Tabaluga [TU Berlin] S.18
- 45 Amtlicher Lageplan Standort Richard-Wagner-Chaussee [4] S.19
- 46 Auszug aus der Flurkarte Standort Richard-Wagner-Chaussee [5] S.19
- 47 Standort der Kita Tabaluga [2] S.19
- 48 Standort für Kita Neubau [TU Berlin] S.19
- 49 Implementierung der Kita-Tabaluga-Planung am Standort für Kita Neubau [TU Berlin] S.20

50	Implementierung der Kita-Tabaluga-Planung am Standort für Kita Neubau [TU Berlin]	S.20
51	Neuplanung der Klimahülle am Standort für Kita Neubau [TU Berlin]	S.20
52	Implementierung der Kita-Tabaluga-Planung am Standort für Kita Neubau [TU Berlin]	S.21
53	Komponenten Neuplanung der Klimahülle am Standort für Kita Neubau [TU Berlin]	S.21
54	Grundriss Neuplanung der Klimahülle am Standort für Kita Neubau [TU Berlin]	S.21
55	Primärtragwerk der Klimahülle über dem Kitamodulbau [TU Berlin]	S.22
56	Element des Primärtragwerks der Klimahülle [TU Berlin]	S.22
57	Energie- und Klimakzept der Klimahülle mit Kitainnengebäuden [TU Berlin]	S.22
58	Lageplan Klimahülle Variante 4.1 [TU Berlin]	S.23
59	Lageplan Klimahülle finale Variante 4.2 [TU Berlin]	S.23
60	Komponenten Klimahülle Variante 4.2 [TU Berlin]	S.23
61	Klimahülle Innenraum Variante 4.2 [TU Berlin]	S.23
62	Grundriss Erdgeschoss Kita mit Klimahülle, Variante 4.2 [TU Berlin]	S.24
63	Längsschnitt Kita mit Klimahülle, Variante 4.2 [TU Berlin]	S.24
64	Grundriss 1. Obergeschoss Kita mit Klimahülle, Variante 4.2 [TU Berlin]	S.25
65	Grundriss 1. Obergeschoss Kita mit Klimahülle, Variante 4.2 [TU Berlin]	S.25
66	Isometrie Kita mit Klimahülle und 2 Dachgärten, Variante 4.2 [TU Berlin]	S.25
67	Innenraumperspektive Kita mit Klimahülle, Variante 4.2 [TU Berlin]	S.26
68	Komponenten Kita mit Klimahülle, Variante 4.2 [TU Berlin]	S.26
69	3D-Modell Tragwerk und Fundament [TU Berlin]	S.27
70	Skizze Gründung [TU Berlin]	S.27
71	Dachintegrierte PV [TU Berlin]	S.27
72	3D- wandelbare Verschattung [TU Berlin]	S.27
73	Primärtragwerksmodul [TU Berlin]	S.28
74	FE-Modell Tragwerk [TU Berlin]	S.28
75	Modulares Gebäudeensemble [TU Berlin]	S.28
76	Fertigteile aus Infralichtbeton [TU Berlin]	S.28
77	Fertigteile aus Infralichtbeton [TU Berlin]	S.28
78	Schema Baukörper Kita mit Klimahülle [TU Berlin]	S.29
79	Isometrie Kita Komponenten der Klimahülle [TU Berlin]	S.29
80	Verschattung in der Pos.1 offen [TU Berlin]	S.29
81	Verschattung in der Pos.2 geschlossen [TU Berlin]	S.29
82	Modell der wandelbaren Dachverschattung in der Pos.2 geschlossen [TU Berlin]	S.30
83	Positionierung und Perforierung der Verschattungsdreiecke in einem Feld [TU Berlin]	S.30
84	Isometrie Tragwerk für vorgegebene Fassadengeometrie [TU Berlin]	S.30
85	Isometrie; Zustand "Geschlossen" mit starren (beige) & beweglichen (grün) Elementen [TU Berlin]	S.30
86	Isometrie; Zustand "Offen" mit starren Elementen [TU Berlin]	S.30
87	Systematischer Bewegungsablauf der beweglichen Fassadenmodule [TU Berlin]	S.31
88	Modell (M1:20) der wandelbaren Dachverschattung in den 3 Zuständen [TU Berlin]	S.31
89	Isometrie Seilzug; Bewegungsablauf eines einzelnen Dreiecks; offen [TU Berlin]	S.31
90	Konzeptskizze der wesentlichen Komponenten des Energie- und Klimakzeptes [TU Berlin]	S.32
91	Temperierung von Klimahülle und Innenräumen [Anhang A2]	S.32
92	Wandelbare Verschattung der Klimahüllenfassade / Westseite [TU Berlin]	S.33
93	Strömungssimulation: Geschwindigkeitsquerschnitt längs, mittig [TU Berlin]	S.33
94	Strömungssimulation: Geschwindigkeitsquerschnitt auf 1 m Höhe [TU Berlin]	S.33
95	Verlauf der jährlichen Heiz- und Kühlleistungen [TU Berlin]	S.34
96	Dachintegrierte PV-Elemente und Verschattungselemente [TU Berlin]	S.34
97	Schema der hinterlüfteten dachintegrierten PV-Elementen [TU Berlin]	S.34
98	Schema und Zusammenfassung der akustischen Maßnahmen in der Klimahülle [TU Berlin]	S.35

- 99 Isometrie Kita+ Hülltragwerk, FE-Berechnung und Klimasimulation der Variante 4.2 [TU Berlin] S.36
- 100 Komponenten der Klimahülle – Forschungsprojekt [A1 Anhang] S.37
- 101 Außenraumperspektive der Klimahülle Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] [8] S.37
- 102 Außenraumperspektive der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] [8] S.37
- 103 Außenraumperspektive der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] [8] S.37
- 104 Komponenten der Klimahülle – Forschungsprojekt [A1 Anhang] S.38
- 105 Komponenten der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] [8] S.38
- 106 Innenraumperspektive der Klimahülle – Forschungsprojekt [A1 Anhang] S.39
- 107 Innenraumperspektive der Klimahülle – Planungsprojekt ARGE [A4 Anhang] [8] S.39

7 Literaturverzeichnis

- [1] Schlaich J., Dechow, P., and Weinrebe, G.: *Klimahüllen für Gewerbegebiete*. Bauwerk Verlag GmbH, Stuttgart, 2008.
- [2] TU Berlin FG Entwerfen und Konstruieren – Massivbau: Peissl, D., Schlaich, M. sbp sonne gmbh: Weinrebe, G. ; *Entwicklung eines Prototyps für energetisch aktive und wandelbare Klimahüllen für eine Kita in Blankenfelde-Mahlow*“. 2013, Forschungsantrag.
- [3] TU Berlin FG Entwerfen und Konstruieren – Massivbau: Peissl, D., Schlaich, M. und sbp sonne gmbh, Weinrebe, G.: *Entwicklung eines Prototyps für energetisch aktive und wandelbare Klimahüllen für eine Kita in Blankenfelde-Mahlow*“. 2016, Schlussbericht.
- [4] Auszug: amtlicher Lageplan Standort Richard-Wagner-Chausee, Grundbuchamt Blankenfelde-Mahlow, 2019
- [5] Auszug: amtliche Flurkarte Standort Richard-Wagner-Chausee, Grundbuchamt Blankenfelde-Mahlow,
- [6] Susanov, P. : Entwurf, Bemessung, konstruktive Durchbildung und der Bau eines Modells einer wandelbaren Dachverschattung für eine energetisch aktive Klimahülle Fachbereich Entwerfen und Konstruieren - Massivbau der TU Berlin, Schlaich, M., Peissl, D., Berlin, 2021. Masterarbeit.
- [7] Egerer, F. : Entwurf, Bemessung und konstruktive Durchbildung einer wandelbaren Fassadenverschattung für eine energetisch aktive Klimahülle, Fachbereich Entwerfen und Konstruieren - Massivbau der TU Berlin, Schlaich, M., Peissl, D., Berlin, 2019. Masterarbeit.
- [8] ARGE LP2 Gerkan, Mark & Partners (gmp), Schlaich Bergermann Partner (sbp se), Ingenieurbüro Hausladen, GTB Gebäudetechnik Berlin, Moll-Akustik, hhpberlin Prüfgesellschaft für Brandschutz: Abgabe zu LP2 für „Kitaneubau mit Klimahülle in Blankenfelde-Mahlow“, 2023-09-25