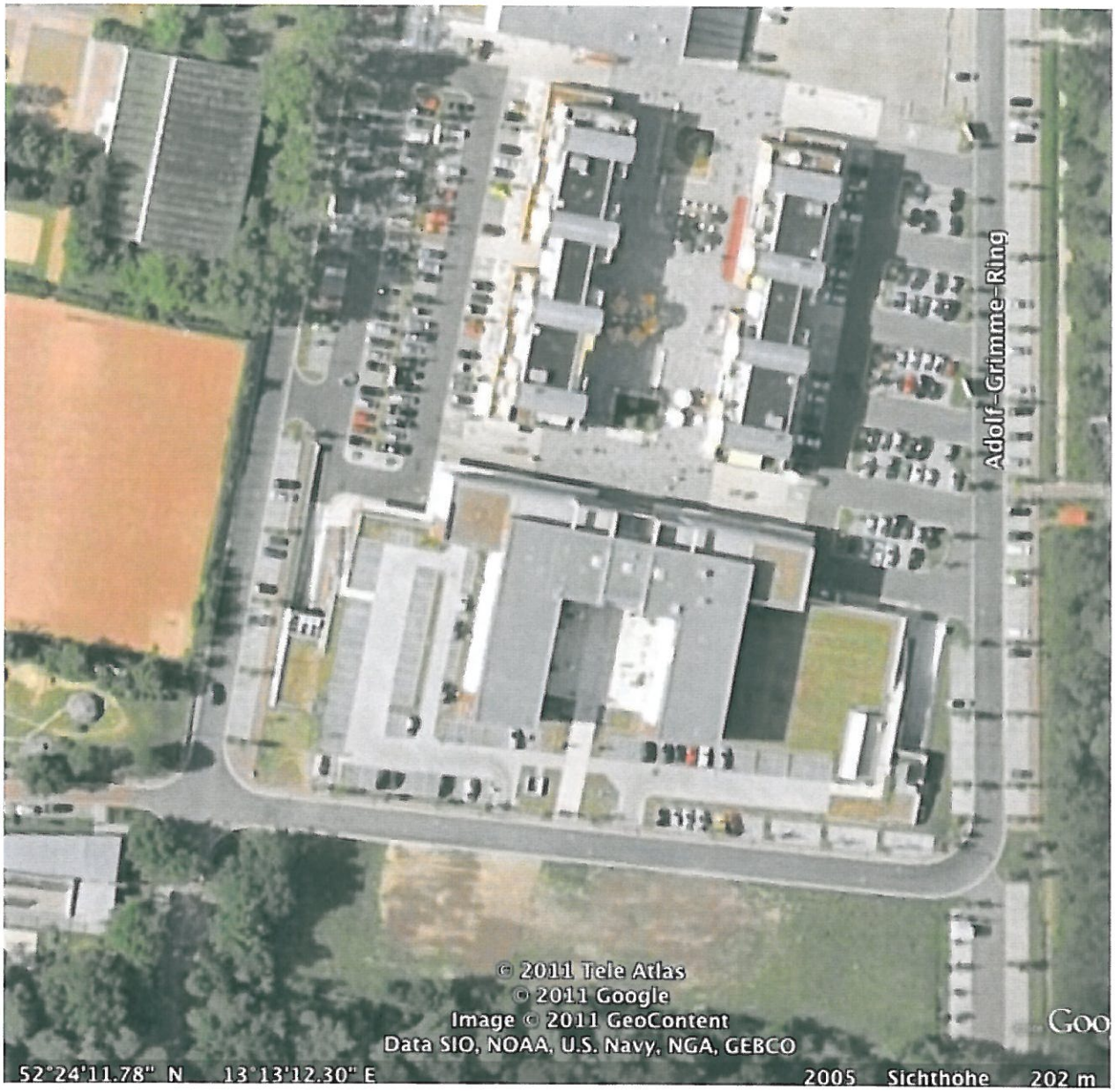
Anlage... DS-Nr. 150/12

Rathaus Kleinmachnow

Studie Kühlung mit regenerativen Energiequellen

Stand 05.09.2011



Veranlassung

Der Generalplaner Kolb Ripke Architekten Planungsgesellschaft mbH wurde durch die Gemeinde Kleinmachnow im Juli 2011 mit der Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie zur Kühlung wesentlicher Teilbereiche des Rathauses Kleinmachnow, Adolf-Grimme-Ring 10, 14342 Kleinmachnow unter Nutzung regenerativer Energiequellen beauftragt.

Die Studie wird in Kooperation mit dem Ingenieurbüro für technische Gebäudeausrüstung Marko Augustat und Partner erarbeitet.

Aufgabenstellung

In den Sommermonaten ist in den Büro- und Besprechungsräumen, sowie in Ratssaal und Bibliothek eine erhebliche Überhitzung festzustellen. Mitarbeiter beklagen die schnelle Überhitzung der Räume, bei Nachprüfungen wurden Spitzenwerte von über 30°C ermittelt.
Im Jahr 2010 wurden bereits zwei Studien zu baulichen Sonnenschutzmaßnahmen und zur aktiven Kühlung der betroffenen Räume durchgeführt.
Aufgabe dieser Studie ist, in Fortschreibung der genannten Studien die weitestgehende Nutzung regenerativer Energiequellen zu prüfen und zu bewerten. Die möglichen Varianten sollen auf Umsetzbarkeit (auch stufenweise), Investitionskosten, Betriebskosten und Auswirkung auf die Energiebilanz untersucht und bewertet werden.

Bearbeitungsgrundlagen

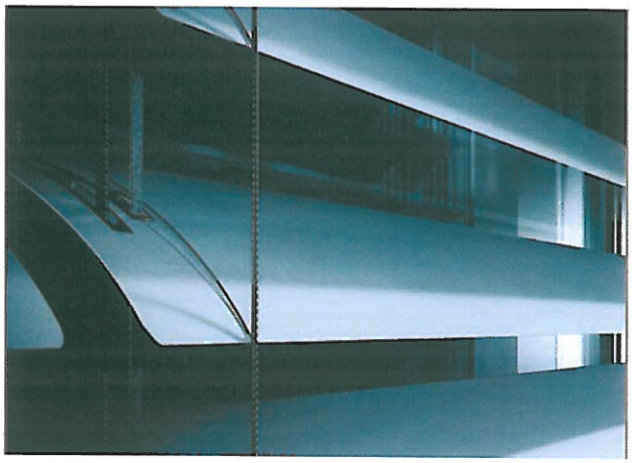
Als Bearbeitungsgrundlagen wurden Planunterlagen des Gebäudes sowie bereits erfolgte Voruntersuchungen zur Verfügung gestellt.

- Genehmigungsplanung Rathaus Kleinmachnow (zur Einsicht)
- Thermografische Untersuchung 2006 Fa. Thermo Control
- Grundrisse Rathaus M 1:100
- Vorentwurf Gebäudekühlung Ingenieurbüro Norbert Paul 2010
- Voruntersuchung baulicher Sonnenschutz Bertsch Architekten 2010
- Verbrauchs- und Nutzungsdaten Gemeinde Kleinmachnow 2010

Ausgangslage

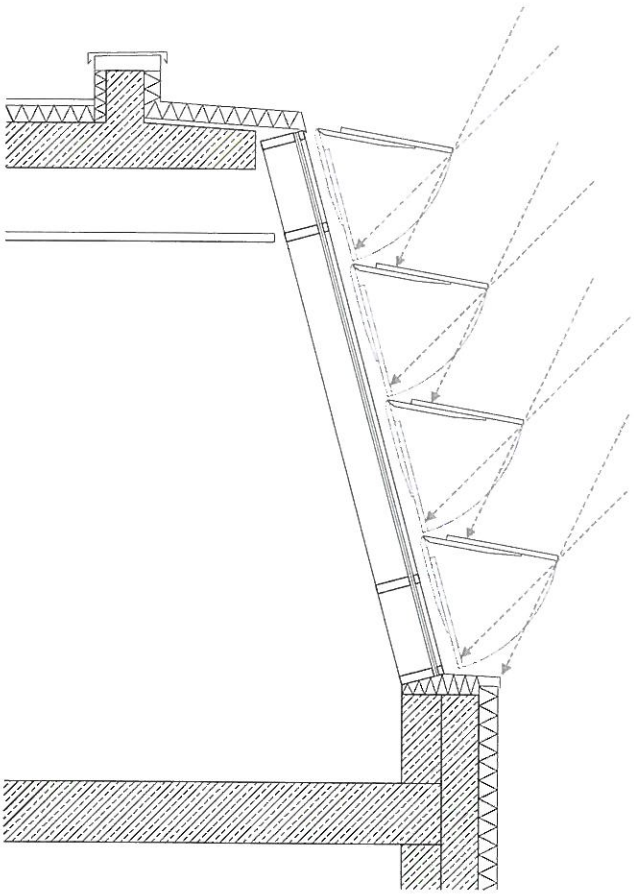
Das 2004 errichtete Rathausgebäude weist eine erhebliche Überhitzung der Innenräume, vor allem der zu untersuchenden Räume in den Sommermonaten auf. Diese Situation ist insbesondere auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- erhöhter solarer Wärmeeintrag über Fenster – der vorhandene Sonnenschutz in den Scheibenzwischenräumen kann die Überhitzung nur geringfügig vermindern
- zusätzlicher Wärmeeintrag über Fensterprofile mit niedrigem Dämmstandard (im Winter auch Kälteeintrag siehe Thermografie)
- Es existiert in den Räumen keine aktive Kühlung, Fensterlüftung ist sowohl im Bürobetrieb, als auch bei Veranstaltungen nur begrenzt möglich.
- Keine erkennbaren Maßnahmen zur Wärmeabführung bei Veranstaltungen und zur Nachlüftung



Sonnenschutz

Ein wesentlicher Baustein zur Verbesserung der raumklimatischen Situation ist der bauliche Sonnenschutz. In der Studie von Bertsch Architekten 2010 sind verschiedene Maßnahmen zum baulichen Sonnenschutz beschrieben.
Es wird im Ergebnis schlüssig der nachträgliche Einbau von Raffstores, die sowohl Fenster als auch Profile verschatten, und eine gute Zirkulation, somit Wärmeabfuhr gewährleisten für alle vertikalen Fenster der betroffenen Räume vorgeschlagen.
Aufgrund dieser Maßnahme wird eine wesentliche Reduzierung des sommerlichen Energieeintrags erzielt. Daher sollte der bauliche Sonnenschutz vor allen weiteren Maßnahmen durchgeführt werden.
Für den Sitzungsraum 3.OG (Schrägverglasung) wird eine Verschattung mit Großlamellen vorgeschlagen. Diese prinzipiell sinnvolle Maßnahme kann in den Übergangsmonaten März und Oktober noch zu Blendwirkungen bzw. direktem Sonneneintrag führen, was aber u.E. vernachlässigt werden kann. Alternativ können die Großlamellen durch Konsolen mit aufgesetzten Photovoltaik - Spezialmodulen mit 660 mm Tiefe ersetzt werden. Durch die Kombination Sonnenschutz / Photovoltaik kann eine Solarleistung von ca. 2,7 kWp installiert werden.
Das in sich schlüssige Konzept des baulichen Sonnenschutzes könnte durch die optionale Maßnahme „Energiedach", die im weiteren noch beschrieben wird, weiterentwickelt werden.



Energiebedarf

Heizlastberechnung
In der Studie 2010 des Ingenieurbüro Paul ist ein Energieverbrauch von 250 MWh / a ausgewiesen. Die Verbrauchsangaben der Gemeinde Kleinmachnow belaufen sich auf 297.581 kWh /a. Ausgehend vom ungünstigeren Wert und ca. 1.400 anzusetzenden Betriebsstunden der Heizungsanlage ergibt sich überschlägig eine Heizlast von 213,00 kW.

Kühllastberechnung
Die Berechnungen basieren auf der Annahme der Nachrüstung eines funktionierenden baulichen Sonnenschutzes entsprechend Studie Bertsch Architekten wie oben beschrieben.

Als weitere Wärmelasten wurden Berücksichtigt:
- Personen 100 W/P.
- Arbeitsplatz EDV 140 W/AP
- Beleuchtung 15 W/m2

Als grundsätzliche Maßnahme ist es erforderlich die inneren und äußeren Wärmelasten zu reduzieren. Die äußeren Kühlasten können durch den Einsatz eines äußeren Sonnenschutzes wesentlich verringert werden. Die Reduzierung der inneren Kühlasten können durch die verbesserte EDV Technik (beispielsweise Terminal PC`s anstatt Einzelplatzrechner) sowie durch die Optimierung der Beleuchtung erreicht werden.
Trotz dieser Maßnahmen wird es aufgrund der Nutzung des Gebäudes erforderlich sein, weitere technische Maßnahmen einzusetzen, um die sommerlichen Temperaturen in einem arbeitsfreundlichen Bereich zu halten (ca. 6K unter Außentemperatur).
Für den Bürgersaal und die Sitzungsräume sind aufgrund der hohen Personenbelegung Lüftungsanlagen vorgesehen. Diese dienen dem Luftaustauch, der Abfuhr der Feuchtelasten, und werden daher über CO2 Sensoren drehzahlgeregelt. Die Lüftungsanlagen werden mit Wärmerückgewinnung und EC-Ventilator-Technik ausgestattet. Aufgrund der Zulufttemperatur von 16°C kann die Kühllast teilweise abgeführt werden, aber aufgrund der Höhe der Kühllast sind weitere Maßnahmen in den Räumen vorgesehen.
Aufgrund der geringen Personenanzahl von 30 in der Bibliothek bei gleichzeitiger hoher Fläche erscheint uns die nachträgliche Installation einer Lüftungsanlage für den hygienischen Luftwechsel nicht sinnvoll. Daher sind nur Maßnahmen zur Raumkühlung berücksichtigt.
Für die Bürobereiche ist aufgrund der hohen Kosten der nachträglichen Installation vorerst keine Lüftungsanlage berücksichtigt. Die Realisierung der Abfuhr der Kühlung aus den Räumen ist mit Umluftgeräten und mit Kühldecken bzw. Kühlsegeln vorgesehen, je nach Sinnhaftigkeit aus Sicht des max. Raumschallpegels, der abzuführenden Leistung und der Umsetzbarkeit im Gebäude.

Zusammenstellung der Kühllast und der Betriebszeiten

	Kühllast	Betriebszeit	Betriebszeit mit Kältebedarf	Jahres-Kältebedarf
	in kW	in h per anno	in h per anno	in kWh
Bürgersaal	50	780 (5x3h pro Woche)	390	9.700
Sitzungsräume	12	780 (5x3h pro Woche)	390	2.300
Büro	57	2080 (40h pro Woche)	500	28.500
Lüftungsanlage Bürgersaal	8	780 (5x3h pro Woche)	200	2.400
Lüftungsanlage Sitzungsräume	2	312 (5x3h pro Woche)	200	800
Summe	**145**			**43.700**
nachrichtlich:				
EDV / Server	10	8760 (24h Betrieb)	8760	43.800

Aufgrund der Gleichzeitigkeit (Ratssaal / Büro) wird für die weitere Betrachtung von einer Gesamt- Kälteleistung von 110kW ausgegangen. Die Kühllast und der der Jahres- Kältebedarf ist in der Aufsummierung nicht berücksichtigt.

Zusammenstellung der Luftmengen für hygienischen Luftwechsel

	Personen-anzahl	Volumenstrom	Jahres- Energie-bedarf Strom	Jahres- Ener-giebedarf Kälte	Jahres- Ener-giebedarf Wärme
			in kWh	in kWh	in kWh
Lüftungsanlage Bürgersaal	200	4.000	3.600	2.400	500
Lüftungsanlage Sitzungsräume	65	1.300	1.200	800	180
Summe			4.800	3.200	680

Konzept Kühlung

Das grundlegende Konzept zur Kühlung der einzelnen Raumbereiche ist in der Studie des Ingenieurbüro Paul 2010 beschrieben. Die Untersuchung baut auf den bereits dargestellten Erkenntnissen auf und benennt Alternativen bzw. zusätzliche Optionen, die sich aus dem Einsatz der oben beschriebenen regenerativen Energieträger ergeben können. Des weiteren wird untersucht, ob bestimmte Systeme einen modularen Aufbau ermöglichen, bzw. nach Dringlichkeit und Budget abschnittsweise realisiert werden können.

Aufgrund der baulichen Bestandssituation besteht zur Einrichtung einer Grundkühlung mittels Kühldecken bzw. Umluftkühlsystemen keine Alternative.

Sämtliche zentral aufgebauten Kühlsysteme ziehen wegen des erforderlichen Leitungsnetzes erhebliche Eingriffe in die Bausubstanz mit Relevanz für Betrieb, Brandschutz etc. nach sich, die in den uns vorliegenden Zahlen noch nicht berücksichtigt sind.
Wir haben aus diesem Grund als alternative Grundkühlung dezentrale Kältemaschinen mit Direktverdampfer (sog. Split-Geräte) in Kombination mit Solarstrom als Variante aufgenommen.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und EC- Ventilatortechnik sind in den benannten Räumen Bürgersaal und Sitzungsräume entsprechend Studie Ingenieurbüro Paul aufgrund der hohen Personenbelegung zwingend erforderlich. Bei effektivem äußeren Sonnenschutz und konsequenter Nachtlüftung kann aufgrund des großen Raumvolumens in der Bibliothek auf eine Lüftungsanlage zugunsten der Ausstattung mit kaltwassergeführten Kühlflächen verzichtet werden. Eine Prüfung der Raumklimasituation aufgrund aktueller Belegungszahlen wird empfohlen. Eine Ausstattung der zu belüftenden Räume mit CO2 – Sensoren für die Ventilatorregelung wird empfohlen.

Zur Lüftung des Bürgersaals sollten als Alternative zur Minimierung der Installationen wandintegrierte Weitwurfdüsen im Bereich der Bühnenrückwand bzw. auf Serverraumseite in Nähe der Lüftungsanlage geprüft werden.

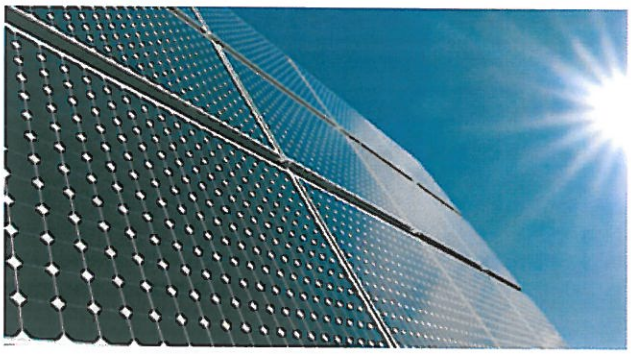
Energieträger

Energieträger - Übersicht - 1

Als regenerative Energieträger für die Kühlung des Gebäudes – bei manchen Systemen auch zur Beheizung – kommen im wesentlichen Photvoltaik, Solarthermie, Erdwärme, Biogas und die Energieeffizienz in Frage.

Photovoltaik

Die Stromerzeugung aus der Sonne erfolgt durch Solargeneratoren > Photovoltaik – Module die die Sonnenenergie in Gleichstrom umwandeln, der in Wechselrichtern in netzverträglichen Wechselstrom mit 220 V Spannung umwandeln. PV-Anlagen werden auf Dächern und Fassaden installiert und können in der Region Berlin je nach Ausrichtung bis zu 950 kWh je installiertem kWp Anlagenleistung produzieren.

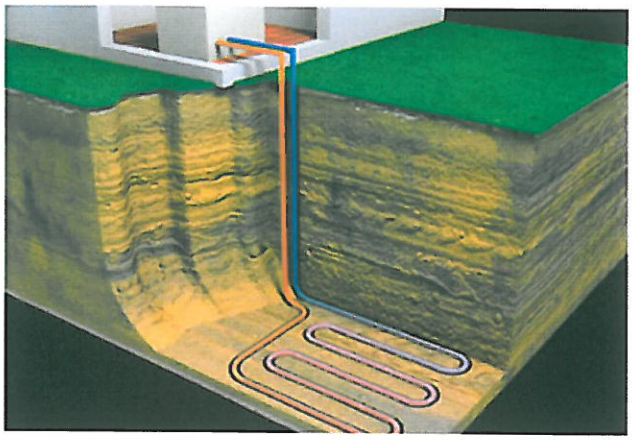


Solarthermie

Die Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme erfolgt in Solarkollektoren – im Bestand werden wegen der höheren Temperaturen und der horizontalen Einbaumöglichkeit Vakuumröhrenkollektoren bevorzugt (siehe Studie Paul 2010). Die erzeugte Wärme kann zur Trinkwassererwärmung, zur Heizungsunterstützung und in Absorptionssystemen zur solaren Kühlung genutzt werden. Durch Nutzung der Solarwärme zur Kühlung wird Elektroenergie die zur Kompression nötig wäre eingespart.

Geothermie

Die Geothermie nutzt die gleichbleibende Wärme / Kälte der Erde bzw. des Grundwassers. Zur Heizung wird der Erde Wärme entzogen und mit einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau zur Beheizung von Gebäuden gebracht. Effektiv ist dieses System im Niedertemperaturbereich bis max. 40°C. Zur Kühlung kann das Medium je nach System direkt über einen Wärmetauscher genutzt oder über o.g. Wärmepumpe auf das gewünschte Energieniveau gebracht werden.



Energieträger - Übersicht - 2

Als regenerative Energieträger für die Kühlung des Gebäudes – bei manchen Systemen auch zur Beheizung – kommen im wesentlichen Photvoltaik, Solarthermie, Erdwärme, Biogas und die Energieeffizienz in Frage.

Biogas / BHKW

basierend auf der Vergärung nachwachsender Rohstoffe, (Pflanzenabfälle, Gülle etc.) wird Biogas als CO2 – neutrale Energieform genutzt. Das Gas kann sowohl in konventionellen Heizsystemen, als auch wesentlich effektiver in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden. Das BHKW kann in Absorptionssystemen (siehe Solarthermie) auch zur Kühlung von Gebäuden eingesetzt werden.

Energieeffizienz

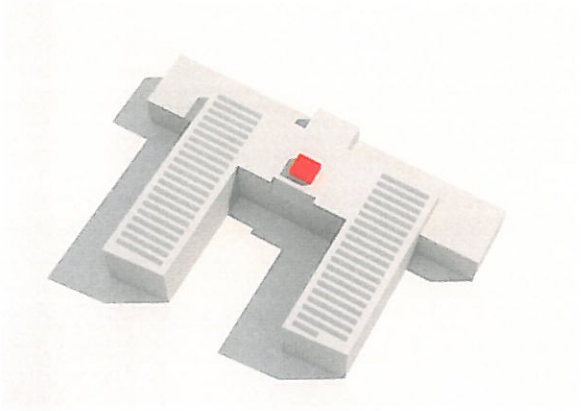
Die sicherste und günstigste Energiequelle stellt nach wie vor das Energiesparen bzw. die effiziente Verwendung von Energie dar. Im Fall Rathaus Kleinmachnow ist dies der sommerliche Wärmeschutz durch Sonnenschutz, die Nutzung von Wärmespendern im Winter (Abwärme / Wärmetauscher), die effektive Steuerung von Heizung und Kühlung und die energieeffiziente Beleuchtung (Leuchtmittel, Präsenzsteuerung etc.) und IT. Da elektrische Verbraucher unmittelbar Wärmelasten erzeugen, hat die effiziente Energienutzung unmittelbaren Einfluss auf die Kühllast der jeweiligen Bereiche.

Anlagenvarianten

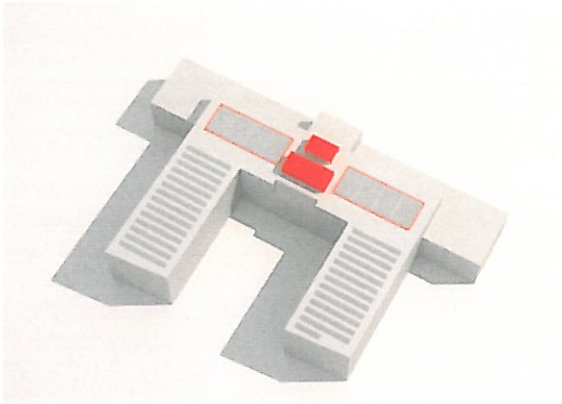
Anlagenvarianten - Übersicht

Es wurden 5 Anlagenvarianten zur Nutzung regenerativer Energieträger untersucht. Es wurden 4 Varianten mit zentraler Anlagentechnik und eine dezentrale Variantemit bereichsabhängiger Anlagentechnik ausgewählt:

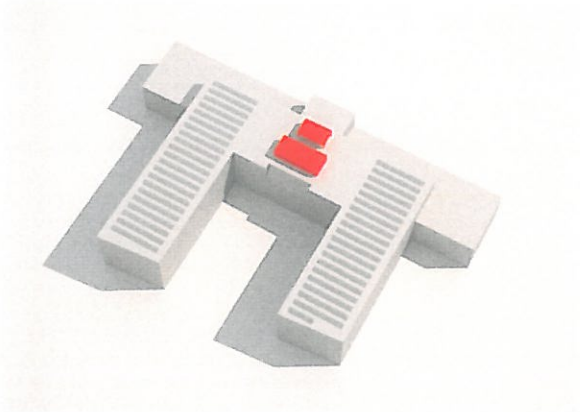
Variante 1 - zentral
Kompressionskälte / Solarstrom



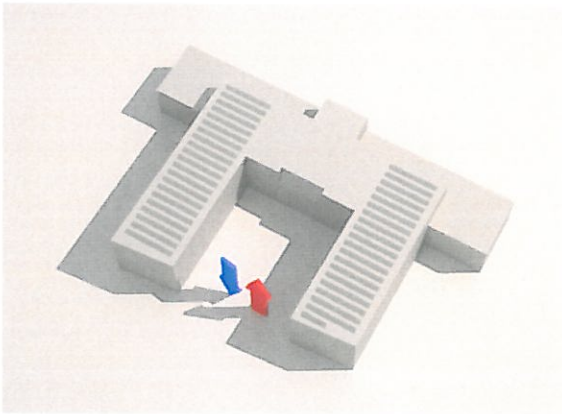
Variante 2 - zentral
Absorptionskälte / Solarthermie



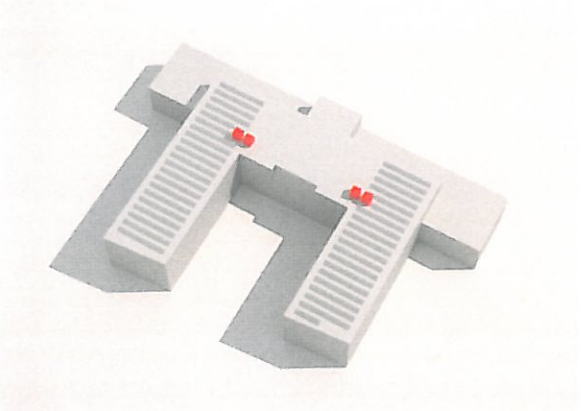
Variante 3 - zentral
Absorptionskälte / BHKW



Variante 4 - zentral
Geothermie / Solarstrom



Variante 5 - dezentral
Direktverdampfer / Solarstrom



Variante 1

Kompressionskältemaschine Klima - Kaltwasser / PV-Anlage

Die Kompressionskältemaschine nutzt den physikalischen Effekt der Verdampfungswärme (Luftkühlung). Hierbei wird ein Kältemittel (Klima-Kaltwasser) in einem geschlossenen Kreislauf durch einen Kompressor komprimiert und durch Wärmeabgabe wieder kondensiert. Eine Kompressionskältemaschine besteht aus einem Kompressor, Verflüssiger, Expansionsventil und Verdampfer. Angetrieben wird die Kältemaschine mit Elektroenergie die bilanziell vollständig über die Photovoltaikanlage erzeugt wird. Überschüssige Energie wird in das Stromnetz des örtlichen Energieversorgers eingespeist, wird mehr Energie benötigt wird diese vom Energieversorger bezogen.

Die Kältemaschine ist als Außengerät auf dem Dach vorgesehen.

Variante 1

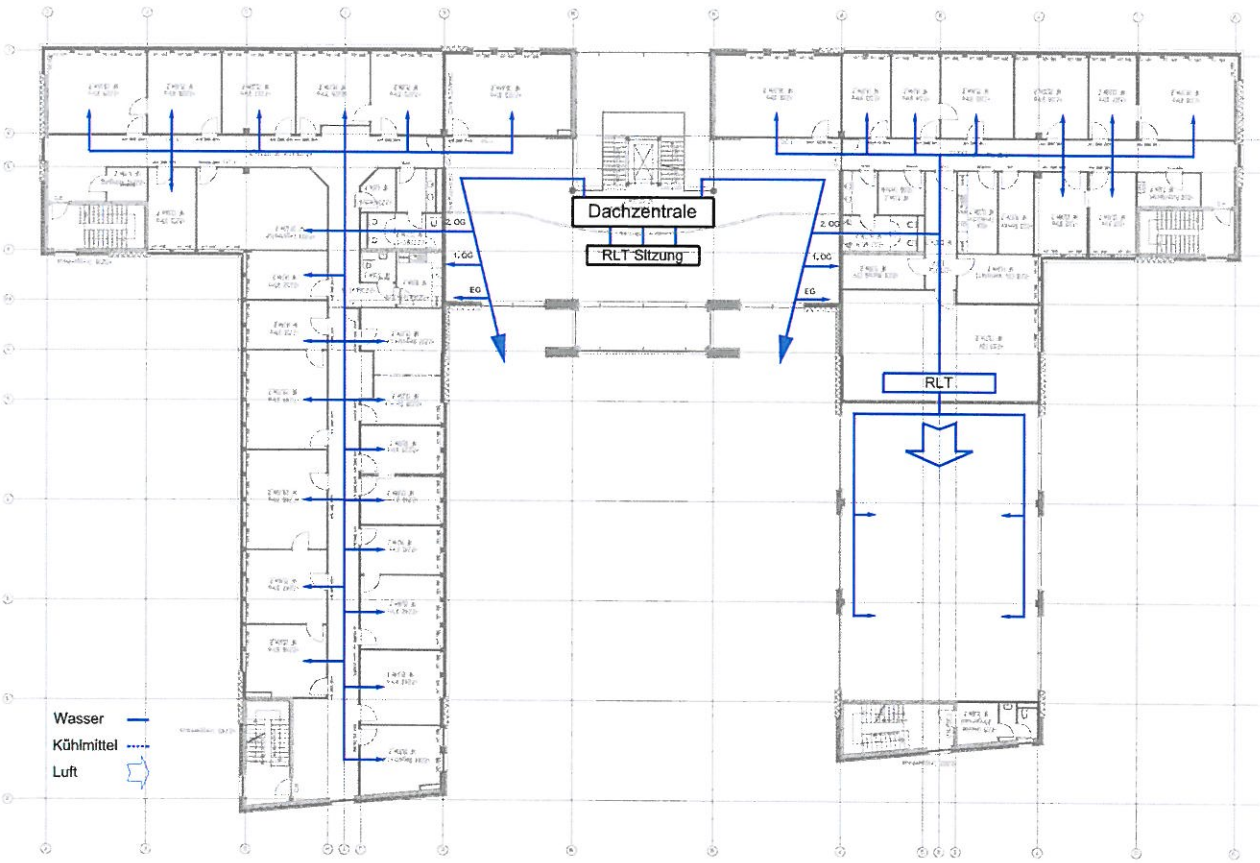
Kompressionskältemaschine Klima
- Kaltwasser / PV-Anlage

Dachaufstellung Kältemaschiene ohne Bekleidung, Vorbereitung Rohrsystem zu Modul 1-4, Ausbau nach modulen möglich, bis Endausbau Überdimensionierung Kältemaschiene, freie PV-Leistung: 33 kWp

Kältemaschiene 110 kW Dachaufstellung luftgekühlt	30.000,00 €
Rohrleitungssystem > Abnehmer	20.000,00 €
Bauliche Maßnahmen Brandschutz etc.	25.000,00 €
Anschluss Elektro	10.000,00 €
Photovoltaikanlage zur bilanziellen Deckung 24.200 kWh (26,8 kWp)	70.000,00 €
Summe Variante 1 Kälteerzeugung System	**155.000,00 €**

Modul 1 Klima Bürgersaal	144.000,00 €
Modul 2 Klima Sitzungsräume	76.000,00 €
Modul 3 Kühlung Bibliothek	70.000,00 €
Modul 4 Kühlung Büro	253.000,00 €
Summe Variante 1 Kühlung / Klima gesamt	**698.000,00 €**

V1

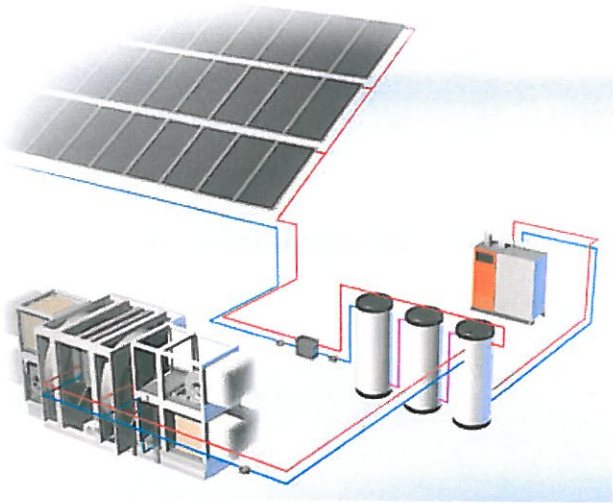


Variante 2

Absorptionskältemaschine mit Solarthermie + Kompressionskälte

Die Absorptionskältemaschine verfügt im Gegensatz zur Kompressionskältemaschine über einen zusätzlichen Lösungsmittel- und Kältemittelkreislauf. Überwiegend werden Wasser als Kältemittel und Lithiumbromid als Lösungsmittel eingesetzt. Der Kältemaschine sind ein Energiespeicher und entsprechende Solarkollektoren vorgeschaltet. Durch den Speicher werden zeitverzögerte ansteigende Kühllasten kompensiert. Für die Rückkühlung der Kältemaschine ist ein Rückkühlwerk vorgesehen.

Aufgrund der hohen inneren Lasten und der zeitlichen Verschiebung von Kühlleistungsbedarf und Angebot an Sonnenenergie ist zusätzlich eine Kompressionskältemaschine für die Spitzenlastabdeckung erforderlich. Alternativ wäre ein Speicher möglich, der aus Platz- und aus statischen Gründen nicht weiter betrachtet wurde. Die Absorptionskältemaschine ist in einem Container auf dem Dach vorgesehen, das Rückkühlwerk und die Kompressionskältemaschine werden als Außengerät ausgeführt.



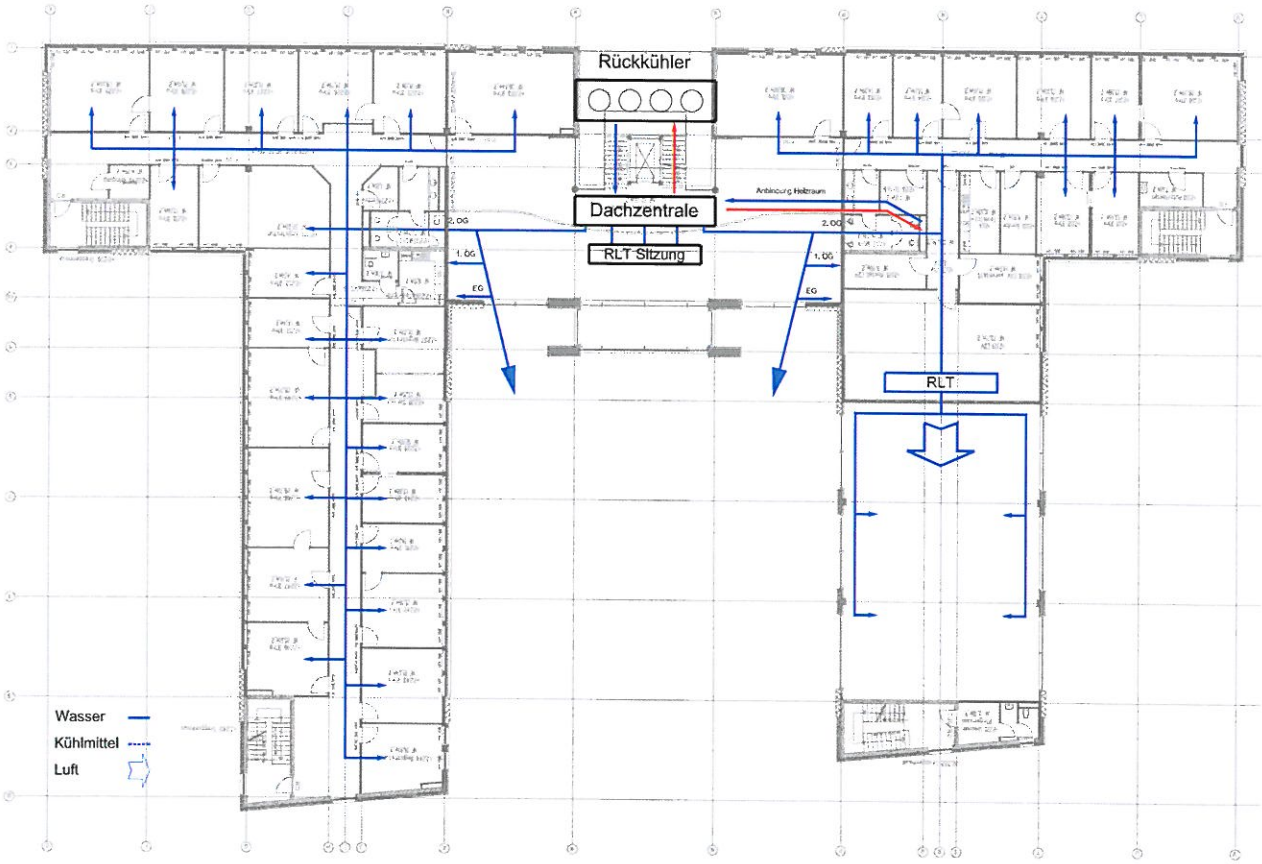
Variante 2

Absorptionskältemaschine mit Solarthermie + Kompressionskälte / PV

Dachaufstellung Kältemaschiene und Rückkühler mit Einhausung, Rohrsystem zu Modul 1-4, Heizungsanlage, Ausbau nach Modulen möglich, aber nicht sinnvoll, freie PV-Leistung: 26 kWp

Absorptionskältemaschiene 5 kW Rückkühler, Puffer luftgekühlt	105.000,00 €
Kompressionskältemaschine 60 kW luftgekühlt	20.000,00 €
Rohrleitungssystem > Abnehmer / Heizraum	40.000,00 €
Bauliche Maßnahmen Dachzentrale, Brandschutz etc.	45.000,00 €
Solarthermie, Vakuumröhrenkollektoren ca. 160 m2	160.000,00 €
Photovoltaikanlage zur bilanziellen Deckung 13.200 kWh (14,8 kWp)	38.000,00 €
Summe Variante 2 Kälteerzeugung System	**408.000,00 €**

Modul 1 Klima Bürgersaal	144.000,00 €
Modul 2 Klima Sitzungsräume	76.000,00 €
Modul 3 Kühlung Bibliothek	70.000,00 €
Modul 4 Kühlung Büro	253.000,00 €
Summe Variante 2 Kühlung / Klima gesamt	**951.000,00 €**

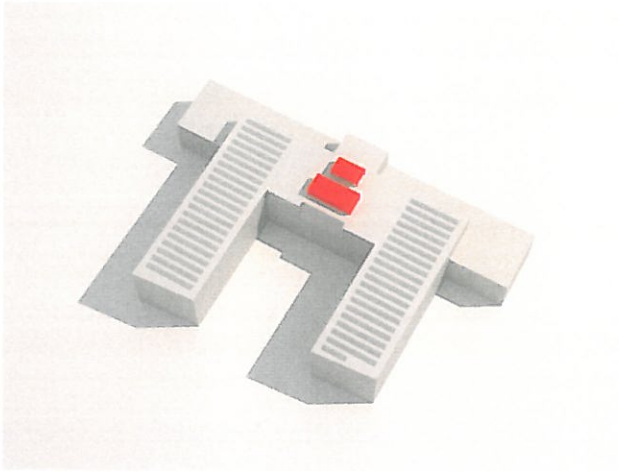


Variante 3

Absorptionskältemaschine mit BHKW

Die Variante 3 entspricht der Variante 2 mit dem Unterschied das die Absorptionskältemaschine mit der Abwärme eines BHKW betrieben wird (30kW elektrisch; 65kW Wärmeerzeugung – ca. 30% der notwendigen Heizleistung). Das BHKW wird nach der der Absorptions-kältemaschine und nach der Grundlast Elektro ausgelegt und im Heizfall zur Deckung der Grundlast verwendet. Dadurch sind hohe Betriebsstundenzahlen zu erreichen. Je höher die Betriebsstundenzahl ist, um so wirtschaftlicher ist der Betrieb. Nicht benötigte erzeugte Elektro- Energie kann in das öffentliche Netz eingespeist werden.
Angesetzte Betriebsstunden
Beheizung ca. 3.000 h/a
Kühlung ca. 1.200h/a (Außentemperatur über 19°)

Beides ist in einem Container auf dem Dach vorgesehen



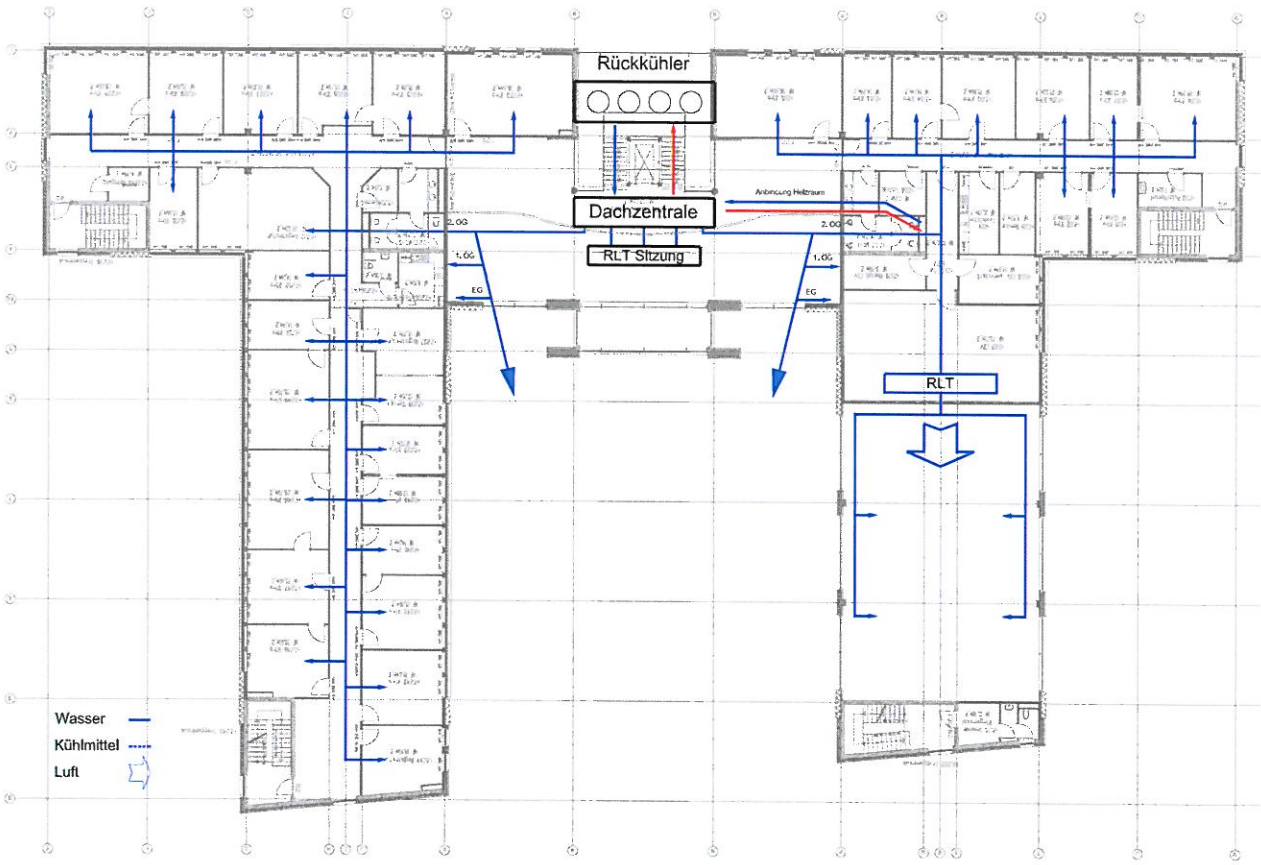
Variante 3

Absorptionskältemaschine mit BHKW + Kompressionskälte / PV

Dachaufstellung Kältemaschiene, BHKW und Rückkühler mit Einhausung, Rohrsystem zu Modul 1-4, Heizungsanlage, Ausbau nach Modulen möglich, aber nicht sinnvoll, freie PV-Leistung: 60 kWp

Absorptionskältemaschiene 50 kW Rückkühler, Puffer luftgekühlt	105.000,00 €
Kompressionskältemaschine 60 kW luftgekühlt	20.000,00 €
Rohrleitungssystem > Abnehmer / Heizraum	60.000,00 €
Bauliche Maßnahmen Dachzentrale, Brandschutz etc.	45.000,00 €
BHKW, 65 kW Heizleistung, 30 kW elektrische Leistung	60.000,00 €
Photovoltaikanlage zur bilanziellen Deckung nicht erforderlich	0,00 €
Summe Variante 3 Kälteerzeugung System	**290.000,00 €**

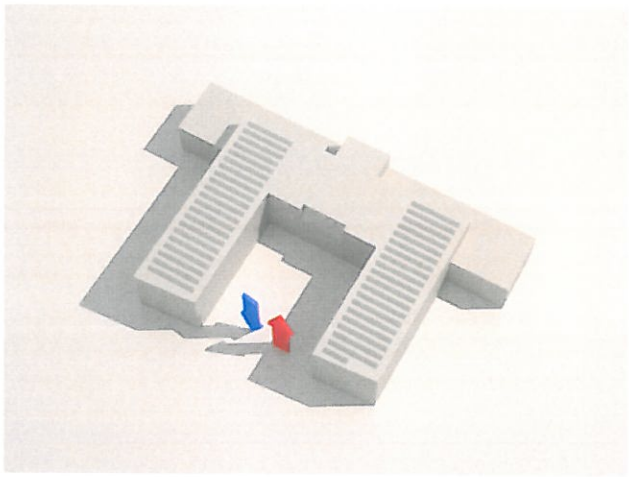
Modul 1 Klima Bürgersaal	144.000,00 €
Modul 2 Klima Sitzungsräume	76.000,00 €
Modul 3 Kühlung Bibliothek	70.000,00 €
Modul 4 Kühlung Büro	253.000,00 €
Summe Variante 3 Kühlung / Klima gesamt	**833.000,00 €**



Variante 4

Geothermie – Direktkühlung + Wärmepumpe

Für die Grundlast der Wärmeversorgung des Rathauses ist eine elektrisch angetriebene Wärmepumpenanlage vorgesehen. Als Wärmequelle dient der Grundwasserleiter in ca. 65m Tiefe. Notwendig sind zwei Bohrungen für den Betrieb der Anlage (Aufnahme der Sonde) sowie eine Probebohrung zur Überprüfung der vorliegenden geologischen Daten sowie für das Monitoring. Das Grundwasser wird über die Sonden entnommen und über eine Pumpe zur Wärmepumpenanlage gefördert. In der Wärmepumpe wird dem Wasser Energie entzogen (Abkühlung um ca. 5K) und danach zur Sonde geleitet und ca. 10m über der Entnahmestelle zurückgeführt.

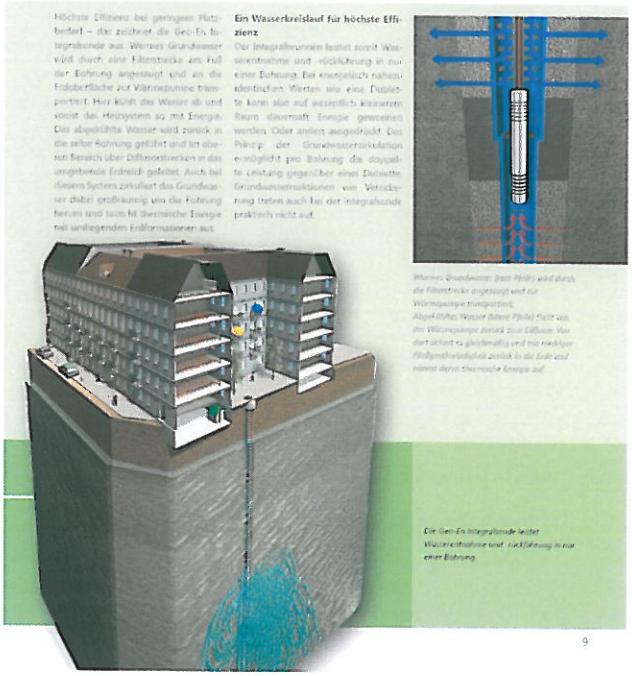


Das Grundwasser hat voraussichtlich eine Temperatur von 9-11°C. Die Systemtemperatur für die Grundbeheizung ist mit einer max. Vorlauftemperatur von 50°C vorgesehen (variabel lastabhängig).

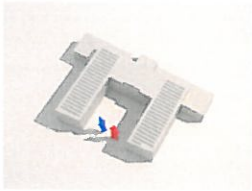
Die Abwärme des Raums Datentechnik wird im Heizfall zur Erhöhung der Grundwassertemperatur verwendet, wodurch sich die die notwendige Leistung der Wärmequelle reduziert.

Durch die Verwendung von Grundwasser als Wärmequelle ist es möglich, dieses im Kühlfall als Wärmesenke zur Kühlung des Gebäudes zu verwenden.

Für die Unterbringung der Wärmepumpe und des Wärmeübertragers muss ein Raum im UG gefunden werden. Bei Ausführung der Energiefassade (Option 3) kann die Anlagentechnik in der Hülle der Energiefassade in unmittelbarer Nähe der verbraucher installiert werden.



Variante 4

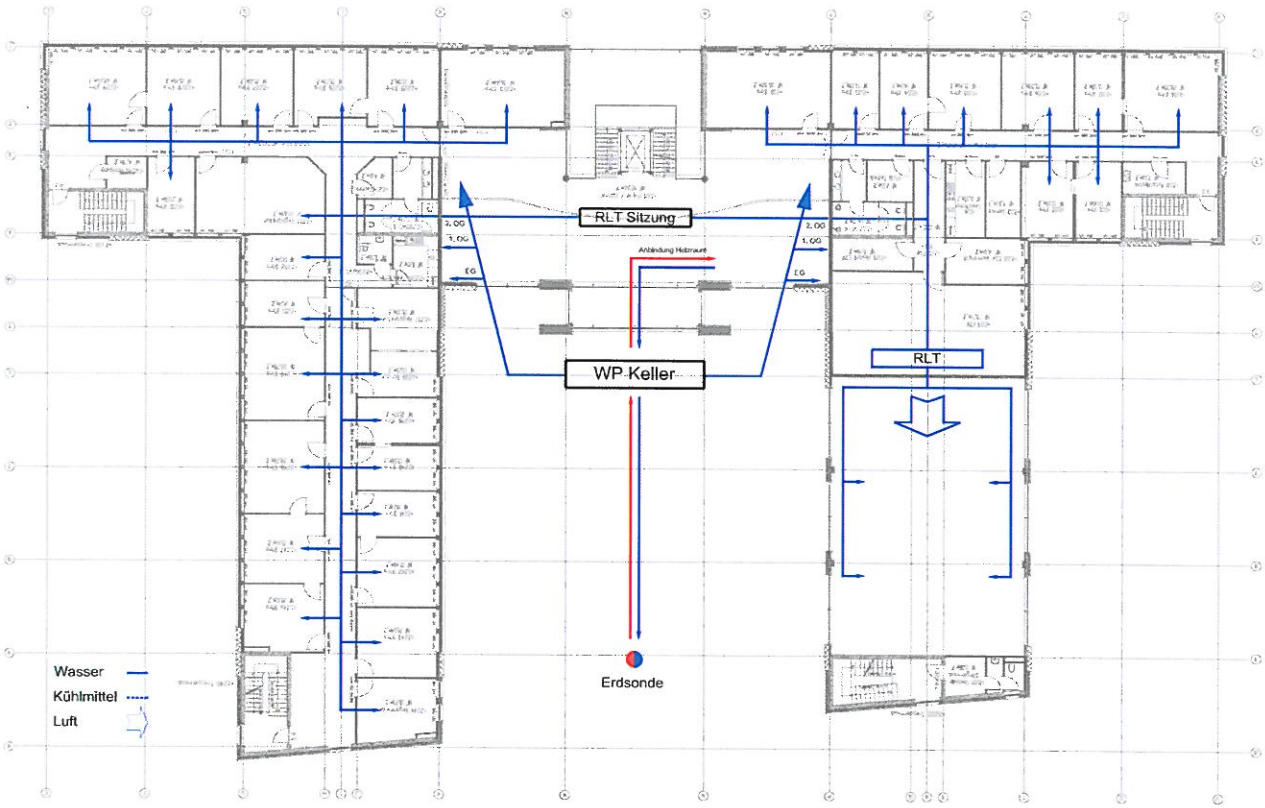


Geothermie - Direkte Grundwassernutzung + Wärmepumpe / PV

Geothermiebohrung (Integralsonde), Wärmepumpe / Wärmetauscher UG, Rohrsystem zu Modul 1-4, Heizungsanlage, Ausbau nach Modulen möglich, freie PV-Leistung: 53 kWp. Bei Einsatz als Grundlastheizung können zusätzlich 150 MWh Wärme regenerativ erzeugt werden. Flächenbedarf UG/EG ca. 80 m2 (siehe Energiefassade)

Antragsverfahren Geothermie / Bohrungen	50.000,00 €
Integralsonden / Anschluss	120.000,00 €
Wärmepumpen- / Wärmetauscheranlage	100.000,00 €
Rohrleitungssystem > Abnehmer / Heizraum	30.000,00 €
Bauliche Maßnahmen, Brandschutz etc.	25.000,00 €
Photovoltaikanlage zur bilanziellen Deckung 6.100 kWh (6,8 kWp)	18.000,00 €
Summe Variante4 Kälteerzeugung System	**343.000,00 €**

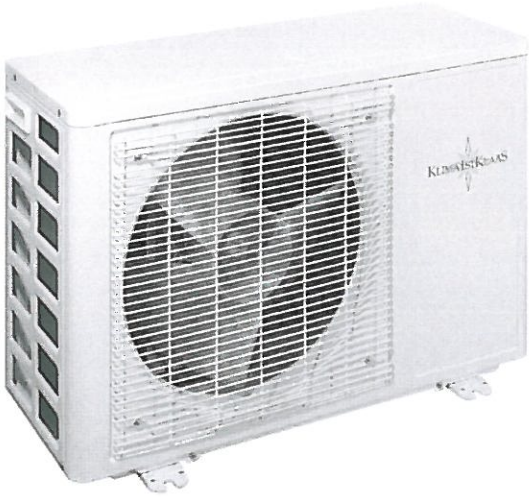
Modul 1 Klima Bürgersaal	144.000,00 €
Modul 2 Klima Sitzungsräume	76.000,00 €
Modul 3 Kühlung Bibliothek	70.000,00 €
Modul 4 Kühlung Büro	253.000,00 €
Summe Variante 4 Kühlung / Klima gesamt	**886.000,00 €**

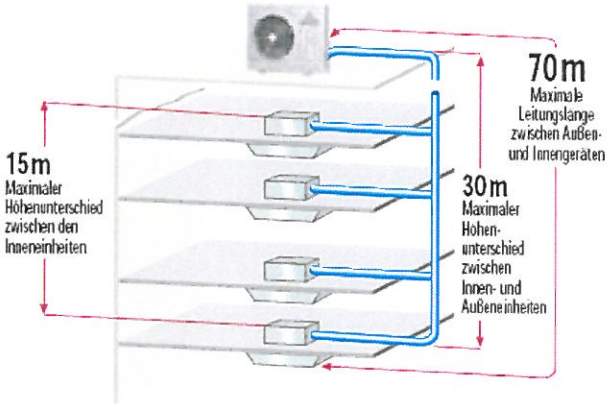


Variante 5

Kompressionskältemaschinen - Wärmepumpe Direktverdampfung + PV - Anlage

Bei der Variante 5 werden die Bereiche mit separaten umschaltbaren Kältemaschinen mit Direktverdampfung mit Kälte – Wärme versorgt. Die Erzeugung der Elektroenergie erfolgt bi-lanziell vollständig über die Photovoltaikanlage. Der Vorteil dieser Variante besteht darin, das einzelne Bereiche voneinander unabhängig installiert werden können und keine zusätzlichen Rohrleitungen für die Beheizung der Zentrallüftungsanlagen erforderlich sind.
Die Geräte sind auf dem Dach bzw. an der Außenwand in der Nähe der zu versorgenden Bereiche angeordnet.



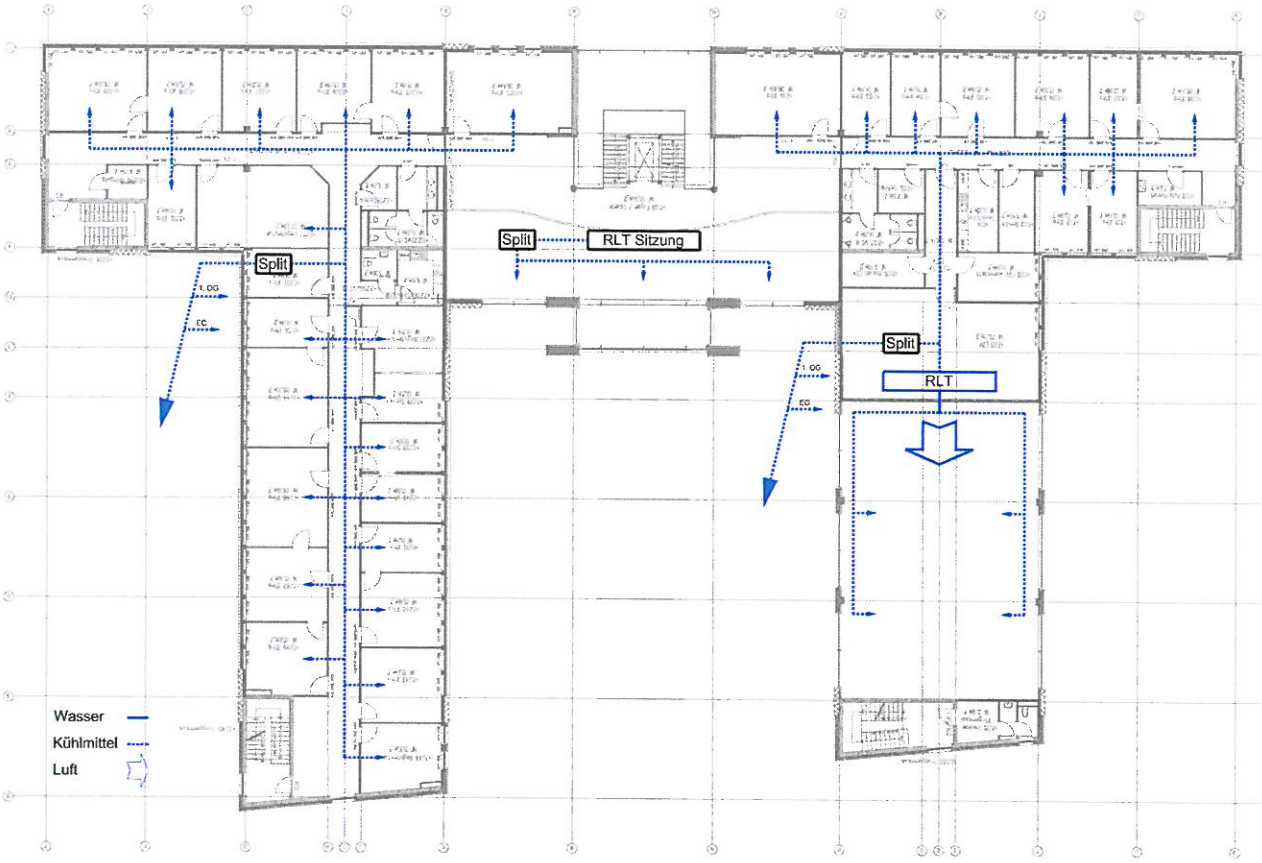


Variante 5

Kompressionskältemaschinen - Wärmepumpe Direktverdampfung + PV - Anlage

Dachaufstellung Splitgeräte dezentral (alternativ Energiefassade), kurzes Rohrsystem zu Modul 1-4, Ausbau nach Modulen, als Systeminvestition ist nur die PV- Anlage zur bilanziellen Deckung kalkuliert, Systemkosten entstehen nur bei Realisierung des jeweiligen Moduls, freie PV-Leistung: 30 kWp.

keine zentralen Systemkomponenten erforderlich	0,00 €
Photovoltaikanlage zur bilanziellen Deckung 26.700 kWh (29,8 kWp)	77.000,00 €
Summe Variante 2 Kälteerzeugung System	**77.000,00 €**
Modul 1 Klima Bürgersaal	164.000,00 €
Modul 2 Klima Sitzungsräume	81.000,00 €
Modul 3 Kühlung Bibliothek	118.000,00 €
Modul 4 Kühlung Büro	220.000,00 €
Summe Variante 5 Kühlung / Klima gesamt	**590.000,00 €**



Anlagenvarianten - Investvergleich

Zum Vergleich der unterschiedlichen Systeme wurde als Prämisse das Ziel :

Primärenergieverbrauch / CO2 - Ausstoß = 0

zugrunde gelegt. Zu den jeweiligen Anlagenvarianten wurde der Stromverbrauch p.a. ermittelt. Auf dieser Basis wurde die Größe und Investitionssumme einer PV - Anlage (siehe Optionen - PV-Dachanlage) ermittelt, die für die bilanzielle Deckung des jeweiligen Energieverbrauchs erforderlich wäre. Diese Summe wurde der Investition System zugeschlagen.

Die Kosten für die jeweiligen Module für Lüftungsanlagen, Kühlsegel oder Umluftgeräte und die Installationskosten sind in den zentral versorgten Varianten 1-4 identisch. In Variante 5 erfolgt die Kühlung durch Einzelgeräte als Direktverdampfer nach dem Wärmepumpenprinzip. daher differieren die Kosten zu den zentralen Systemen in den Einzelmodulen.

	Investition System	Modul 01 Bürgersaal	Modul 02 Sitzung	Modul 03 Bibliothek	Modul 04 Büros	**Summe**
V1	155.000	144.000	76.000	70.000	253.000	**698.000**
V2	408.000	144.000	76.000	70.000	253.000	**951.000**
V3	290.000	144.000	76.000	70.000	253.000	**833.000**
V4	343.000	144.000	76.000	70.000	253.000	**886.000**
V5	77.000	164.000	81.000	118.000	220.000	**660.000**

Anlagenvarianten - Vergleich Invest- und Betriebskosten

Zur weiteren Beurteilung wurden die Investitionskosten mit den Betriebskosten über 10 jahre in Relation gesetzt. Hierfür wurden die Wartungskosten und Energieverbrauch bzw. - Einsparung die durch die verschiedenen Anlagenvarianten erzielt werden können sowie in einer vereinfachten Rechnung 1/10 der Investitionskosten p.a. berücksichtigt. Auf diese Weise werden Effekte für die zusätzliche Einsparung von Primärenergie im Winter, die beim Einsatz von BHKW (Variante 3) und Geothermie (Variante 4) nutzbar sind, in der Gesamtbetrachtung berücksichtigt. Der Wärmebedarf und das Heizsystem des bestehenden Gebäudes mit hohen Temperaturen schränken diesen Effekt bei Nutzung der Geothermie (Variante 4 - Niedertemperatursystem) allerdings erheblich ein.

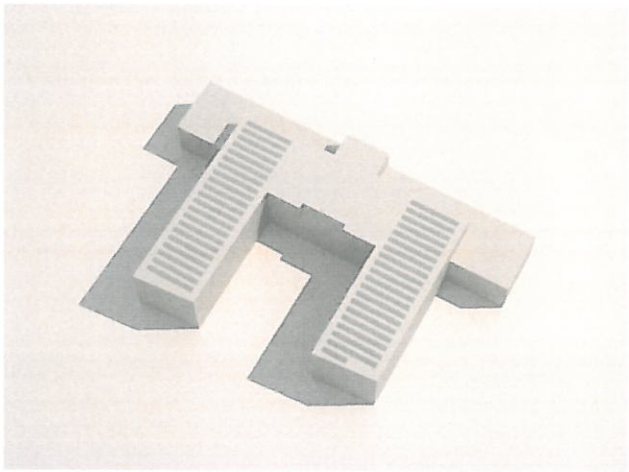
	Variante				
	V1	V2	V3	V4	V5
Investitionskosten	**698.000,00 €**	**951.000,00 €**	**833.000,00 €**	**886.000,00 €**	**660.000,00 €**
Energieverbrauch Lüftungsanlagen					
Elektoenergie in kWh	4.800	4.800	4.800	4.800	6.080
Wärmeernergie in kWh über Heizkessel	3.200	3.200	3.200	3.200	0
(Kälteenergie im Kühlbedarf berücksichtigt)					
Kühlbedarf in kWh (ohne EDV)	43.700	43.700	43.700	43.700	43.700
Elektroenergie Kühlung	24.167	13.242	13.242	6.100	26.727
Kosten bei 0,1575€/kWh	3.806,25 €	2.085,56 €	2.085,56 €	960,75 €	4.209,45 €
Gasverbrauch Kühlung in kWh			109.615		
Gaskosten 0,05764€/kWh (brutto)			6.357,69 €		
Jährliche Verbrauchskosten	**3.806,25 €**	**2.085,56 €**	**8.443,25 €**	**960,75 €**	**4.209,45 €**
Wartung BHKW	0	0	4.280,00 €	0	0
Wartung Absorptions KM	0	1.500,00 €	1.500,00 €	0,00 €	0
Wartung Kompressions KM	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	0,00 €	3.000,00 €
Wartung GEOTHERMIE	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1.200,00 €	0,00 €
Jährliche Wartungskosten	**1.000,00 €**	**2.500,00 €**	**6.780,00 €**	**1.200,00 €**	**3.000,00 €**
Stromerzeugung in kWh	24.200	13.200	120.000	6.100	26.700
Einsparung Eigenverbrauch 0,1575€/kWh	3.811,50 €	2.079,00 €	18.900 €	960,75 €	4.205,25 €
Gas- / Stromverbrauch Wärme in kWh			365.385	43.333	
Kosten Gas 0,058 / Strom 0,16€/kWh			21.192,31 €	7.063,33 €	
Einsparung Wärme in kWh	0,00 €	0,00 €	195.000,00	150.000,00	0,00 €
Einsparung Wärme bei 0,05764€/kWh	0,00 €	0,00 €	11.239,80 €	8.646,00 €	0,00 €
Jährliche Einsparungen	**3.811,50 €**	**2.079,00 €**	**8.947,49 €**	**2.543,42 €**	**4.205,25 €**
Betriebskosten	**994,75 €**	**2.506,56 €**	**6.275,76 €**	**-382,67 €**	**3.004,20 €**
Investitionskosten per anno (10 Jahre)	69.800,00 €	95.100,00 €	83.300,00 €	88.600,00 €	66.000,00 €
Betriebs+ Invest- Kosten	70.794,75 €	97.606,56 €	89.575,76 €	88.217,33 €	69.004,20 €
KWK-Zuschlag 0,0511€/kWh (10 Jahre)	0,00 €	0,00 €	7.665,00 €	0,00 €	0,00 €
EEG - Vergütung + Bonus ca. 0,164 €/kWh	3.968,80 €	2.164,80 €	0,00 €	1.000,40 €	4.378,80 €
Eingesparte Energiesteuer 0,0055€/kWh			825,00 €		
Eingesparte Stromsteuer 0,0205€/kWh			3.075,00 €		
Förderung	**3.968,80 €**	**2.164,80 €**	**11.565,00 €**	**1.000,40 €**	**4.378,80 €**
Betriebs- + Investkosten - Förderung	**66.825,95 €**	**95.441,76 €**	**78.010,76 €**	**87.216,93 €**	**64.625,40 €**

Optionen zur Energienutzung

Option 1

Photovolltaik Dachanlage

Das Flachdach des Gebäudes bietet Platz für eine aufgeständerte Anlage aus kristallinen PV-Modulen mit einer Gesamtleistung von ca. 60 kWp. Bei einer Modulneigung von 20° kann ein Solarertrag von ca. 54.000 kWh erreicht werden.



Je nach Anlagenvariante werden für die Kühlung des Gebäudes zusätzlich zwischen 0 und 26.800 kWh Strom verbraucht. Der überschüssige Solarstrom kann zur regenerativen Stromversorgung des Gebäudes bzw. zur Einspeisung in das öffentliche Netz genutzt werden.

In Variante 2 (Absorptionskältemaschine / Solarthermie) stehen etwa 30% weniger Dachfläche für PV zur Verfügung. Die verbleibende PV-Leistung von ca. 42 kWp reicht zur regenerativen Deckung des zusätzlichen Strombedarfs (13.200 kWh/a) aus.

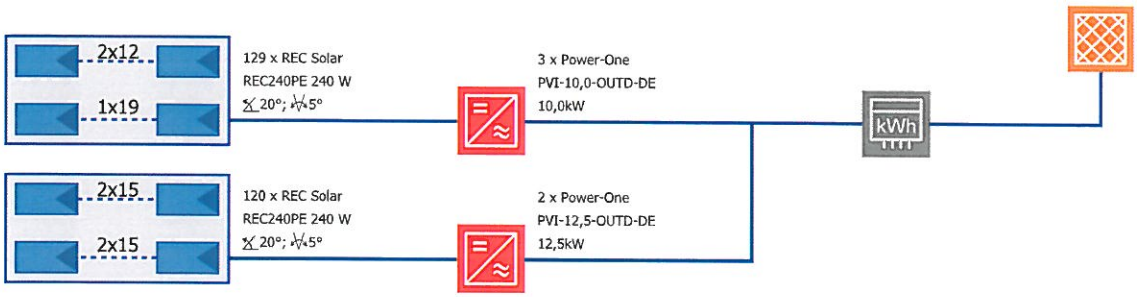
Durch die Regelungen des EEG (Energie Einspeisegesetz) - hier: Einspeisevergütung trägt sich die Investition in eine Photovoltaikanlage selbst (siehe Renditeberechnung). Neben den Effekten der CO2 - Einsparung können durch Optimierung des direkten Eigenverbrauchs eine Entlastung der öffentlichen Netze erreicht und weitere Erträge nach EEG erzielt werden (Siehe Stromliefervereinbarung Steinwegschule).

Durch Nutzung weiterer Optionen (solare Mobilität, Kurzzeitspeicherung, Stromverkauf) können im kommunalen Verbund weitergehende Effekte zur CO2 - Einsparung und Netzentlastung generiert werden.

Option 1

Photovolltaik Dachanlage

Projektname:	AGR10	23.08.2011
Variantenbezeichnung:	V1_REC_PO_60kW	



Standort:	Berlin	
Klimadatensatz:	Berlin (1981-2000)	
PV-Leistung:	59,76	kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche:	410,85 / 410,76	m²

PV-Generator Einstrahlung:	463.592	kWh
PV-Gen. erzeugte Energie (wechselstromseitig):	56.626	kWh
Netzeinspeisung:	56.626	kWh

Systemnutzungsgrad:	12,2	%
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad):	83,8	%
spez. Jahresertrag:	946,2	kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	50.096	kg/a

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können aufgrund von Schwankungen des Wetters, der Wirkungsgrade von Modulen und Wechselrichter und anderer Faktoren abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.

Option 1

Photovolltaik Dachanlage

PV - Flachdachanlage aus aufgeständerten, kristallinen Photovoltaikmodulen Shedkonstruktion zur Gewichtsminimierung auf Dachfläche verklebt. Photovoltaikanlage > PV-Leistung: 31 kWp > PV-Ertrag 29.600 kWh/a

Investkosten	
PV - Anlage, kristalline PV-Module, 60,00 kWp	145.000,00 €
Summe Invest Option 1 Photovoltaik Dachanlage	**145000,00 €**
Summe Instandsetzung Dacheindichtung > Nutzungszeit 20 Jahre	**125.000,00 €**
Betriebskosten (Annahme. 70% Eigenverbrauch)	
Eigenverbrauch > ersparter Strompreis + Vergütung lt. EEG p.a.	- 13.100,00 €
Einspeisevergütung lt. EEG p.a.	- 4.600,00 €
Summe Betrieb Option 1 Photovoltaik Dachanlage	**- 17.700,00 €**
ROI (return on Invest) PV-Anlage	**10,17 %**
ROI (return on Invest) Dachanlage / Instandsetzung gesamt	**5,18 %**

Ergebnis: Die Installation einer Photovoltaik - Dachanlage trägt sich aufgrund einer erwarteten hohen Eigenverbrauchsquote selbst. Die Amortisationszeit für die Insettition liegt unter 10 Jahren bei einer Nutzungsdauer von min. 20 Jahren.

Insofern stellt die Nutzung von Sonnenenergie zur Stromerzeugung für die vorliegende Aufgabenstellung die effektivste und auch wirtschaftlich sinnvollste Lösung für den Einsatz erneuerbarer Energieträger zur Gebäudekühlung dar (In Kombination mit Variante 1 bzw. 5).

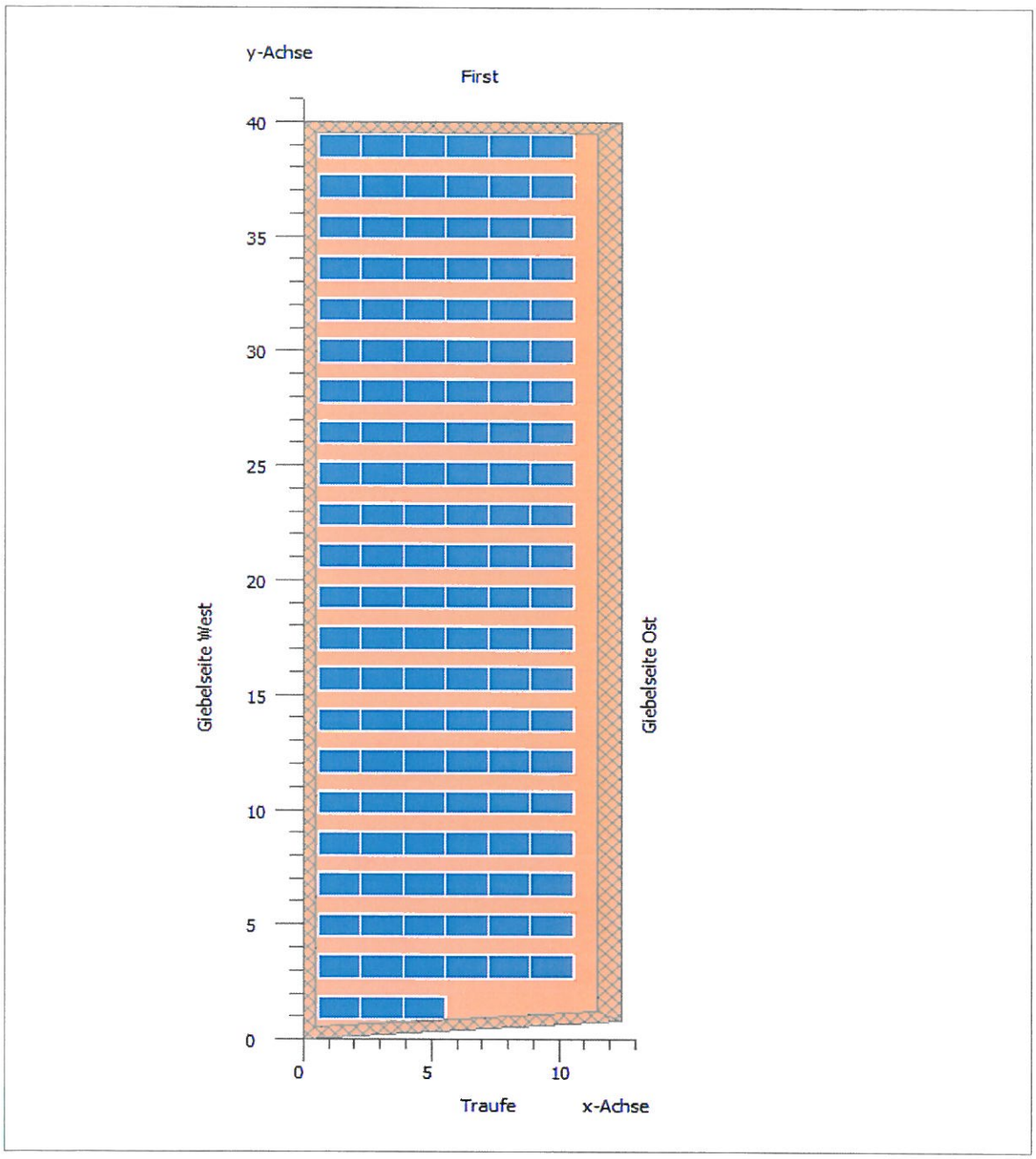
Auch unabhängig von der Nutzung für die Gebäudekühlung ist die Investition in eine PV - Anlage wirtschaftlich sinnvoll. Die Instandsetzung der Dachfläche kann über die PV - Anlage gegenfinanziert werden.

Option 1

Photovolltaik Dachanlage

Projektname: AGR10
Variantenbezeichnung: V1_REC_PO_60kW

23.08.2011



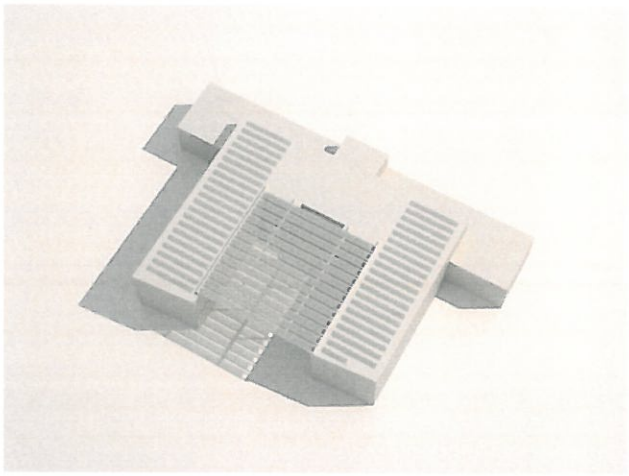
Option 2

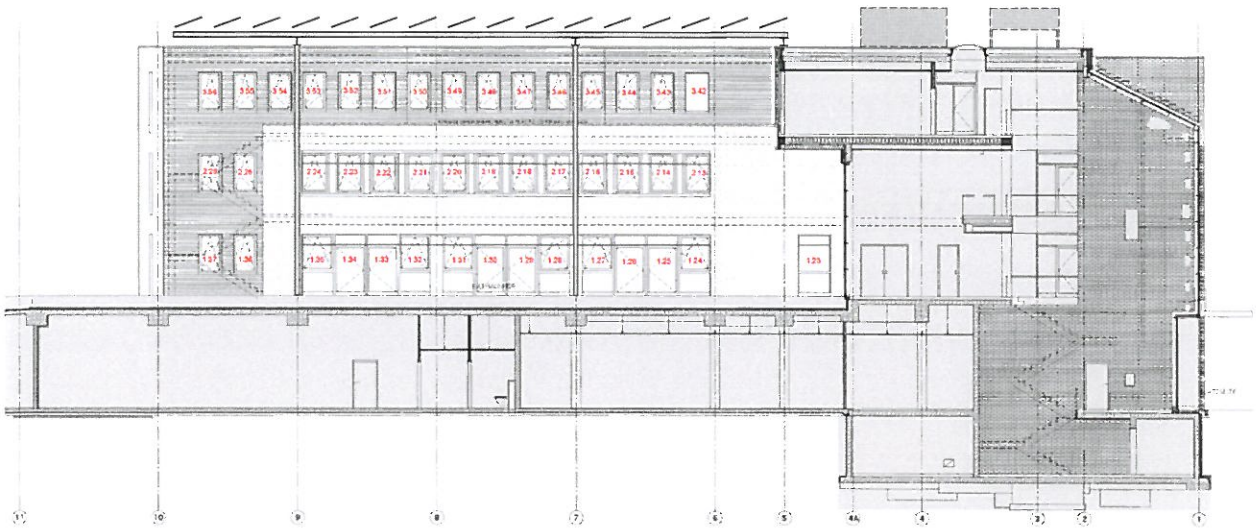
Solardach Innenhof

Die Überdachung des Innenhofes stellt eine Option zur erweiterten Nutzung regenerativer Energien mit Positiveffekten für das Gebäudeklima und die Nutzung des Innenhofes dar. Die Anordnung von Photovoltaikmodulen als Sheds in Kombination mit transparenten Stützdreiecken ermöglicht die vollständige Verschattung des Hofes und der angrenzenden Fassaden bei gleichmäßiger indirekter Beleuchtung.

Der durchlüftete, aber vollständig regengeschützte Hof bietet Wetterschutz im Alltag, wie für open air Veranstaltungen. Den Kosten der schlanken Stahl - Tragkonstruktion stehen Einsparungen beim Sonnenschutz der Hoffassaden gegenüber. Die Hülle aus PV-Modulen und Lichtsheds hat eine Leistung von ca. 30 kWp mit einem zusätzlichen Solarertrag von ca. 29.600 kWh/a. (Siehe Renditeberechnung)

Im Fall der Konkretisierung ist die Umsetzbarkeit aus statischer Sicht (Lastabtrag auf Gebäude / Gründung) und aus Sicht der Arbeitsplatznutzung (Lichteinfall, Schneebelag im Winter etc.) zu prüfen.

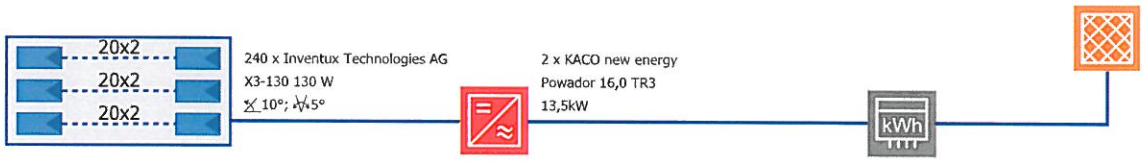




Option 2

Solardach Innenhof

Projektname:	AGR10	02.09.2011
Variantenbezeichnung:	V2_REC_INV_PO_KACO_90kW	



Standort:	Berlin	
Klimadatensatz:	Berlin (1981-2000)	
PV-Leistung:	31,20	kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche:	343,20 / 343,58	m²

PV-Generator Einstrahlung:	371.086	kWh
PV-Gen. erzeugte Energie (wechselstromseitig):	29.606	kWh
Netzeinspeisung:	29.606	kWh

Systemnutzungsgrad:	8,0	%
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad):	87,8	%
Wechselrichter Nutzungsgrad:	93,9	%
PV-Generator Nutzungsgrad:	8,5	%
spez. Jahresertrag:	947,8	kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	26.201	kg/a

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können aufgrund von Schwankungen des Wetters, der Wirkungsgrade von Modulen und Wechselrichter und anderer Faktoren abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.

Option 2

Solardach Innenhof

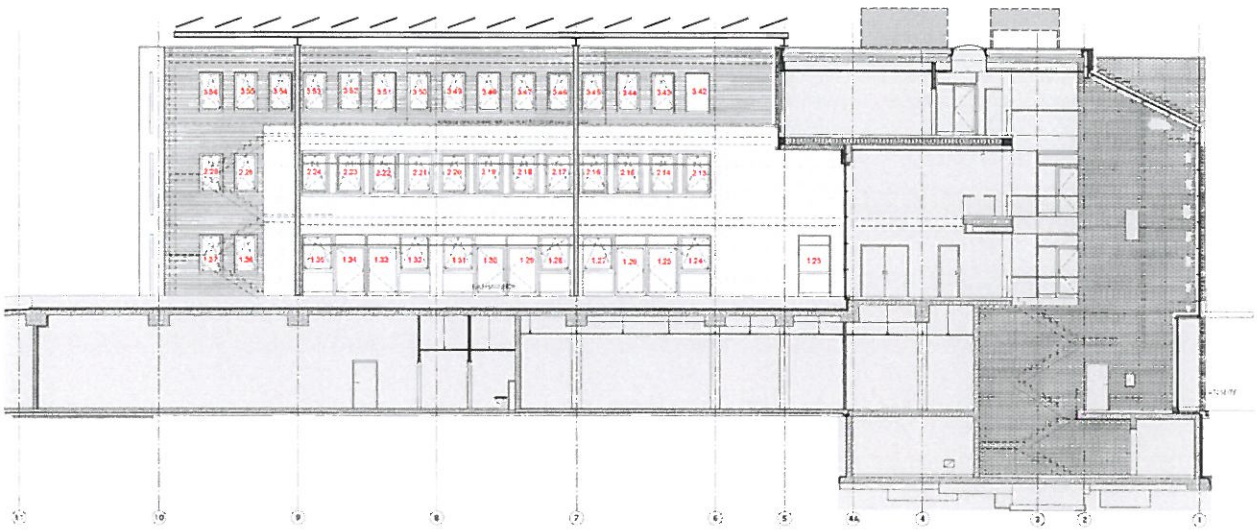
Aufgelegte Stahlkonstruktion als zweilagige Konstruktion mit vier Pendelstützen zu Überdachung des nach Süden geöffneten Eingangshofes. Shedkonstruktion zur Aufnahme von PV-Modulen und Lichtstreifen zur indirekten Belichtung des Hofes und der angrenzenden Innenräume. Ziel: weitgehende Verschattung der Hoffassaden, optional ganzflächiger Wetterschutz. Photovoltaikanlage > PV-Leistung: 31 kWp > PV-Ertrag 29.600 kWh/a

Investkosten	
Stahlkonstruktion incl. Gründung und Gebäudeauflager	85.000,00 €
Unterkonstruktion PV als Shed - Konstruktion	17.000,00 €
Wetterschutz / Lichtbänder / Regenentwässerung als Option	38.000,00 €
PV - Anlage, Dünnschicht , 31,00 kWp	83.000,00 €
Summe Invest Option 2 Solardach Innenhof	**223.000,00 €**
ggf. Einsparung Sonnenschutz anteilig	**- 73.000,00 €**

Betriebskosten (Annahme. 70% Eigenverbrauch)	
Eigenverbrauch > ersparter Strompreis + Vergütung lt. EEG p.a.	- 7.070,00 €
Einspeisevergütung lt. EEG p.a.	- 2.440,00 €
Summe Betrieb Option 2 Solardach Innenhof	**- 9.510,00 €**

ROI (return on Invest) PV-Anlage	**9,63 %**
ROI (return on Invest) Solardach Innenhof gesamt	**4,31%**

Ergebnis: Die Installation eines Solardaches über dem Innenhof erscheint nur in Kombination mit der Nutzungserweiterung des innenhofes und als Signet der regenerativen Energiegewinnung sinnvoll. Durch hohe Grundinvestitionskosten der Konstruktion liegt die Amortisationszeit für die Gesamtinvestitiondeutlich über 20 Jahren bei einer Nutzungsdauer von min. 20 Jahren.

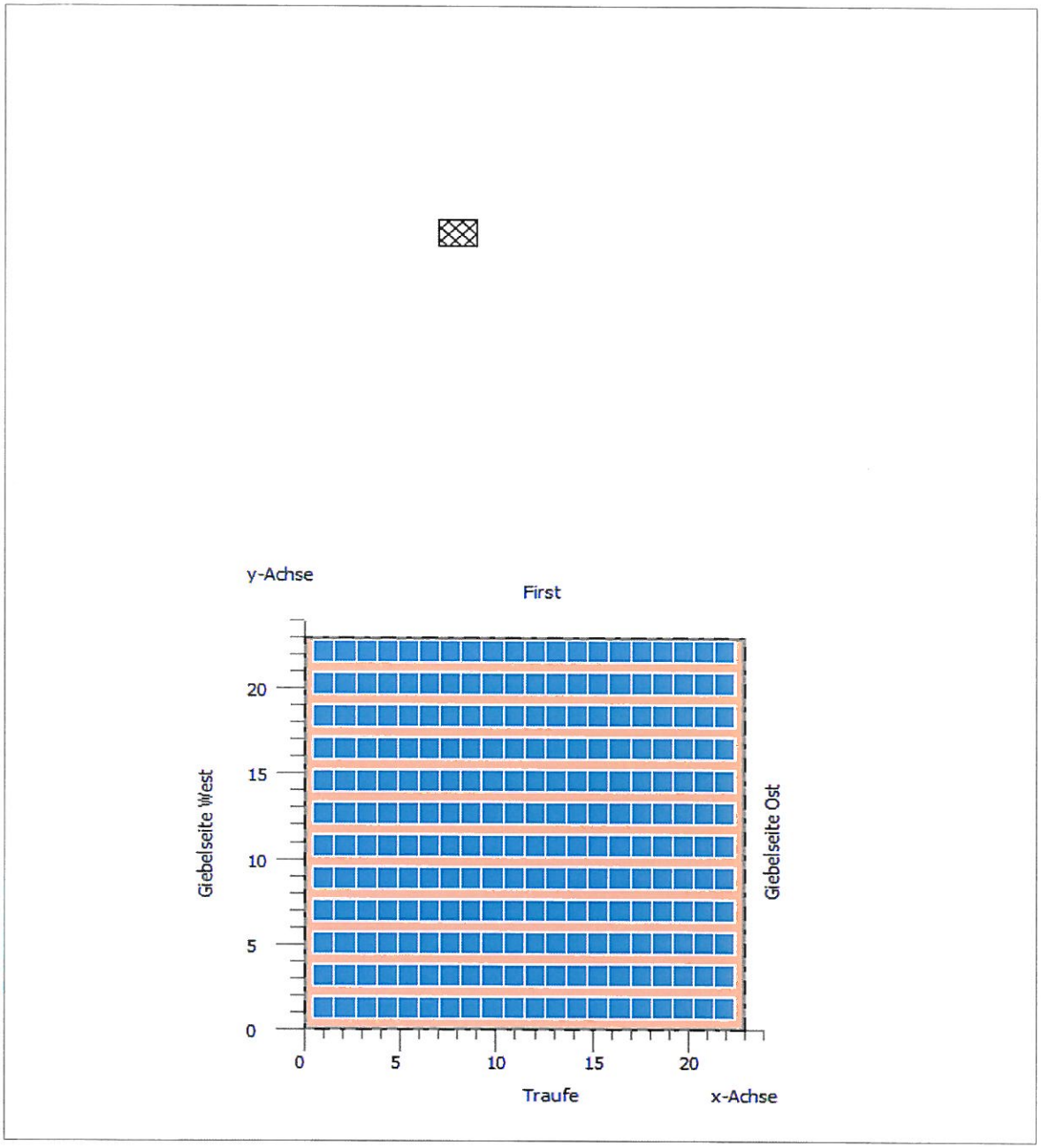


Option 2

Solardach Innenhof

Projektname: AGR10
Variantenbezeichnung: V2_REC_INV_PO_KACO_90kW

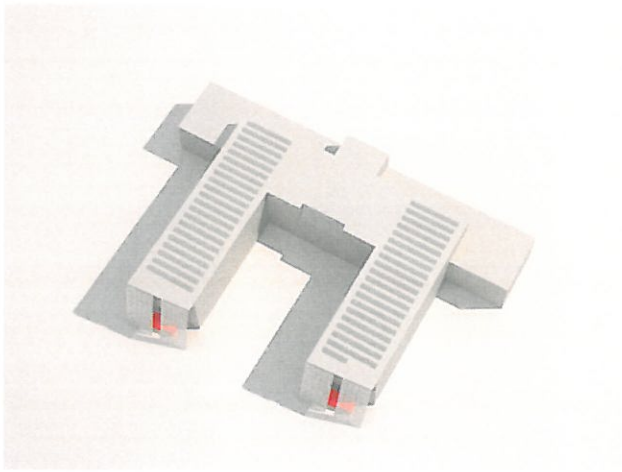
02.09.2011



Option 3

Energiefassade

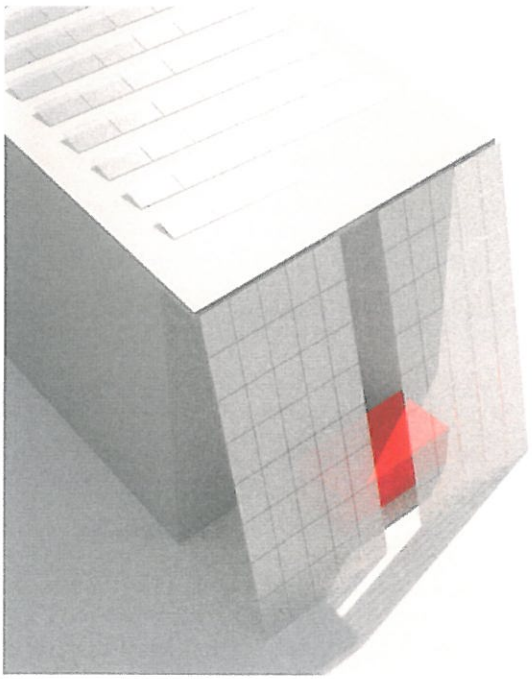
Die weitgehend geschlossenen Südfassaden des Rathausgebäudes sind prinzipiell für die solare Nutzung geeignet. Bei senkrechter, fassadenparalleler Anordnung von Modulfeldern können ca. 80% der optimalen Jahreserträge erreicht werden. Bei einer Neigung von etwa 75° werden bereits ca. 90% der Erträge erreicht.

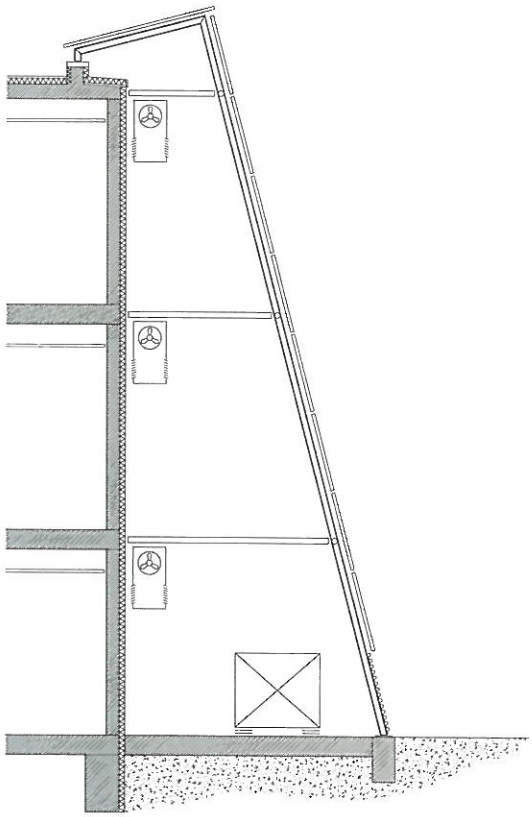


„Energiefassade": PV-Module werden mit einer Trapezblechhülle ein Luftkollektorsystem, das im Sommer der intensiven Hinterlüftung durch Thermik, im Winter im geschlossenen System durch Vortemprerierung der Zuluft der Wärmepumpe (V4) bzw. den Direktverdampfern (V5) zur Heizungsunterstützung dienen kann (Gleichzeitigkeit von Solarertrag und Verbrauch). Hinter der Energiefassade können die Geräte jeder Variante eingebaut werden (keine störende Dachzentrale), Luftkanäle und Kühlleitungen können auf kurzem Weg ohne Querung von Fremdeinheiten in die Etagen geführt werden.

Die Energiefassade hat eine Leistung von ca. 20 kWp mit einem zusätzlichenSolarertrag von ca. 19.000 kWh/a. (Siehe Ertragsberechnung)

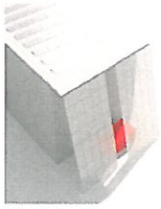
Im Fall der Konkretisierung ist die Umsetzbarkeit aus statischer Sicht (Lastabtrag auf Gebäude / Gründung) und die Auswirkung auf Stellplätze etc. zu prüfen.





Option 3

Energiefassade - PV-Anlage mit Abwärmenutzung



Vorgestellte geneigte Stahlkonstruktion „Energiefassade" als zweite Hülle für zusätzliche Anlagentechnik, mit Trapezblech- Kasettenfassade zur Abwärmenutzung PV nach dem Hypokaustenprinzip, seitliche Lamellenfassade, Photovoltaikanlage > PV-Leistung: 21 kWp > PV-Ertrag 19.000 kWh/a

Investkosten

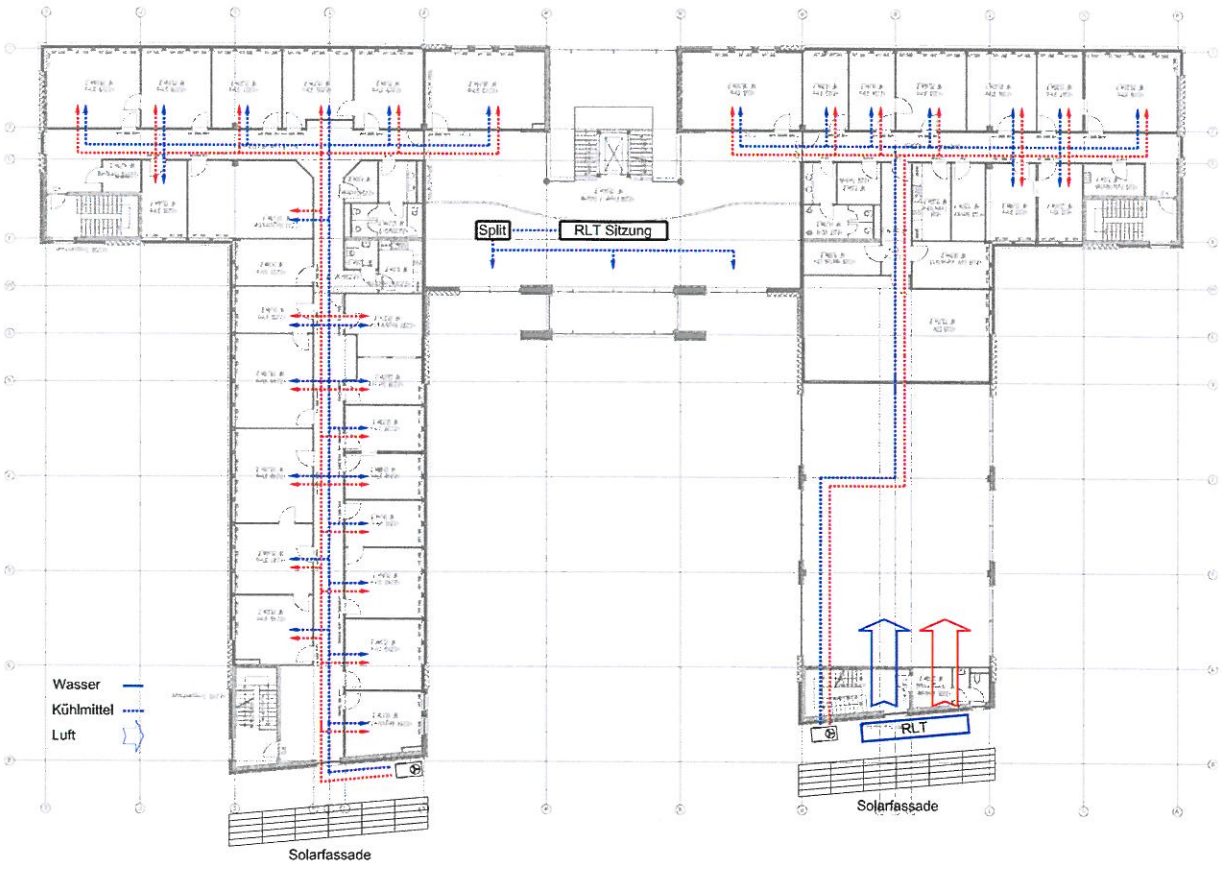
Stahlkonstruktion incl. Gründung und Gebäudeauflager	45.000,00 €
Fassade - Trapezblechkasette 240 m2, Lamellen 130 m2	54.000,00 €
PV - Anlage, Dünnschicht , 21,00 kWp	55.000,00 €
Summe Invest Option 3 Energiefassade	**154.000,00 €**

Betriebskosten (Annahme. 70% Eigenverbrauch)

Eigenverbrauch > ersparter Strompreis + Vergütung lt. EEG p.a.	- 4.660,00 €
Einspeisevergütung lt. EEG p.a.	- 1.630,00 €
Summe Betrieb Option 3 Energiefassade	**- 6.290,00 €**

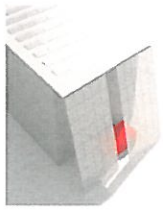
ROI (return on Invest) PV-Anlage	**9,63 %**
ROI (return on Invest) Energiefassade gesamt	**2,89 %**

Ergebnis: Die Installation der Energiefassade erscheint zur Minimierung der Eingriffe in die Bausubstanz und als Signet der Energieeffizienz sinnvoll. Neben den Solarerträgen werden Flächen für die TGA an optimaler Stelle geschaffen und zusätzliche Einspareffekte durch die Abwärmenutzung der PV-Anlage erzielt.

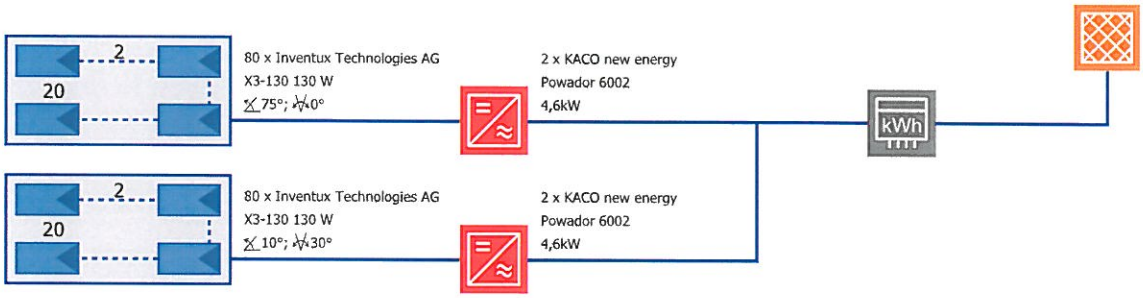


Option 3

Energiefassade - PV-Anlage mit Abwärmenutzung



Projektname:	AGR10	23.08.2011
Variantenbezeichnung:	V3_21kW_Inventux_Kaco	



Standort:	Berlin	
Klimadatensatz:	Berlin (1981-2000)	
PV-Leistung:	20,80	kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche:	228,80 / 229,05	m²

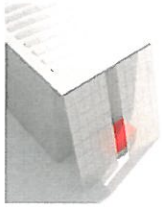
PV-Generator Einstrahlung:	235.067	kWh
PV-Gen. erzeugte Energie (wechselstromseitig):	18.895	kWh
Netzeinspeisung:	18.895	kWh

Systemnutzungsgrad:	8,0	%
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad):	88,4	%
spez. Jahresertrag:	907,1	kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	16.717	kg/a

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können aufgrund von Schwankungen des Wetters, der Wirkungsgrade von Modulen und Wechselrichter und anderer Faktoren abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.

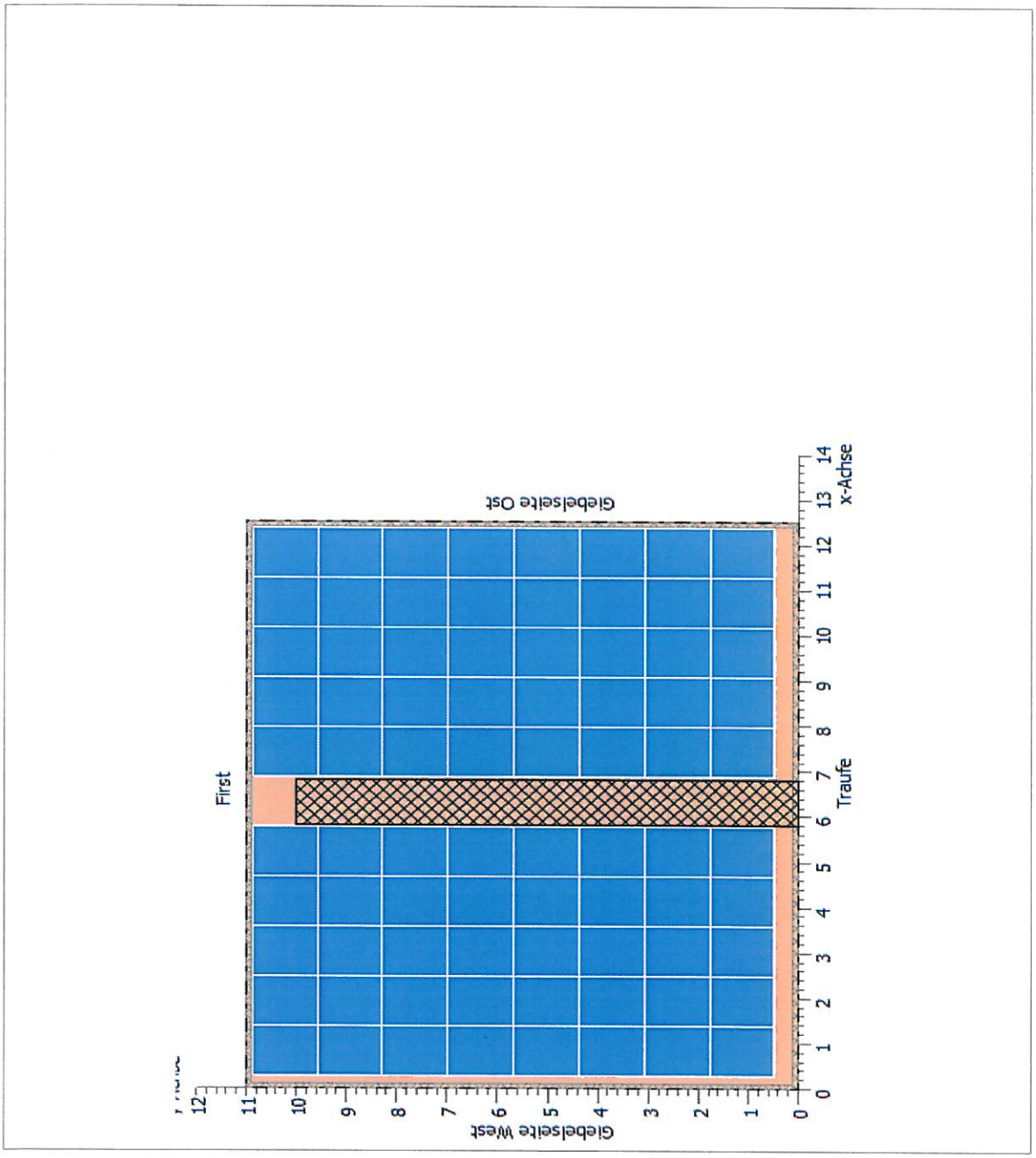
Option 3

Energiefassade - PV-Anlage mit Abwärmenutzung

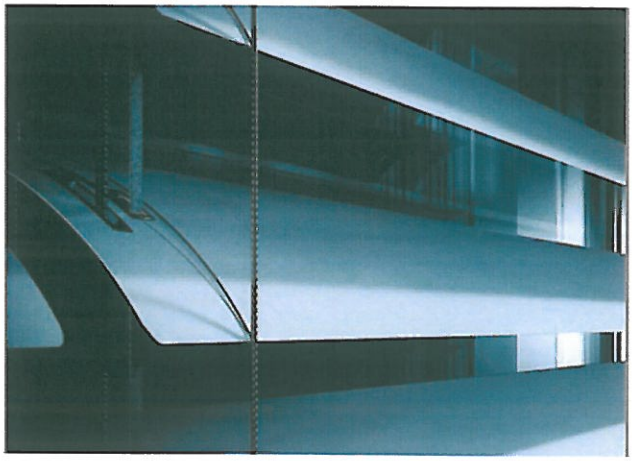


Projektname: AGR10
Variantenbezeichnung: V3_21kW_Inventux_Kaco

23.08.2011



Auswertung / Fazit



Aufbauend auf den uns vorliegenden Unterlagen und Untersuchungen wurden im Rahmen dieser Studie 5 Varianten zur Kühlung des Rathauses Kleinmachnow unter Verwendung regenerativer Energieträger untersucht. Als Grundlage kann angemerkt werden, dass die Vermeidung von Wärmeeintrag in das Gebäude durch baulichen Sonnenschutz die Grundvoraussetzung für weitere Maßnahmen zur aktiven Kühlung darstellt.

Grundsätzlich sind alle untersuchten Varianten in der Lage, die ermittelten Kühllasten abzuführen. Installationsaufwand und Investitionshöhe differieren aber erheblich.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde als Zielstellung für alle Varianten postuliert, dass keine zusätzliche fossile Energie zur Kühlung des Gebäudes aufgewendet werden soll. Insofern wurde die Investition zur bilanziellen Deckung des jeweiligen Energiebedarfs durch Photovoltaik den Investitionskosten der Variante zugeschlagen.

Weiteres Kriterium ist die Modulare bzw. Abschnittsweise Realisierung der Maßnahmen für die einzelnen Bereiche, die aktiv gekühlt werden sollen.

Fazit / Empfehlung

Nach Auswertung der Energiewerte, Investitions- und betriebskosten und der weiteren oben genannten Prämissen stellt die

Variante 5 - Wärmepumpe Direktverdampfung / PV

die wirtschaftlichste und flexibelste Variante zur Kühlung dar. Die dezentral den jeweiligen Bereichen zugeordneten Geräte lassen sich in beliebigen Abschnitten unabhängig voneinander realisieren. Der erforderliche Strombedarf wird durch eine Teilfläche der PV - Dachanlage (Option 1) bilanziell gedeckt. Weitere Stromerträge aus der PV-Anlage können zur Deckung des weiteren Strombedarfs genutzt werden.
Erträge PV und Strombedarf Kühlung entwickeln sich im Tages- und Jahreslauf parallel, was zur Optimierung der Eigenverbrauchsquote beiträgt.

Es wird darüber hinaus zur Optimierung des regenerativen Deckungsgrades und zur besseren Ausnutzung der Anlagentechnik empfohlen, Die Energiefassade (Option 3) zu realisieren.

Berlin, 05.09.2011