Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

Diplomarbeit

Wohnsiedlung “Ghar Il-Friefet”

Ressourcenorientiertes Bauen am Beispiel einer Wohnhausanlage auf der Insel Malta

unter der Betreuung von
ao.Univ.Prof. Dipl.Ing.Dr.techn. Helmut Schramm

E253/2 Institut für architektur und entwerfen, Abteilung für wohnbau und entwerfen

eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Antonio Granziera
0527893

Murlingengasse 1/4/14, 1120 Wien

Wien, am .....

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei Herrn ao.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Helmut Schramm für die ausgezeichnete Betreuung und die beständige Unterstützung bedanken. Gleicherweise möchte ich mich bei Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Krec und Univ.Prof. Arch. Dipl. Ing. Dr.techn. Martin Treberspurg für die bauphysikalische Betreuung und Beratung in technischen Fragen bedanken.

Ein herzliches Dankeschön an Herrn Dr Mario Fsadni des IETs der Universität von Malta für die Betreuung während meiner Untersuchungsperiode auf Malta.

Einen speziellen Dank an die Freunde, die meine Arbeit während dieser Zeit unterstützt haben.

Der größte Dank gebührt natürlich meinen Eltern und meiner Familie für die langjährige Unterstützung.

Inhalt

Umwelt und Energie **7**

1. Einleitung 8

1.1. Die energetische Perspektive 8
1.2. Das Potential von erneuerbaren Energieresourcen 10
1.3. Die Notwendigkeit eines passiven Eergiekonzeptes 12

Geschichte **15**

2. Klimatische Eigentümlichkeiten der historischen Architektur auf Malta 16

2.1. Das Baumaterial 16
2.2. Il-Girna 17
2.3. Ir-Razzett 18
2.4. The terraced House 19
2.5. Malta Stock Exchange 20
2.6. Farson Brewery 21

Klima **25**

3. Einfluss des Klimas auf das thermische Gebäudeverhalten 26

3.1. Das Klima der Insel 26
3.2. Experimentelle Untersuchung des thermischen Gebäudeverhaltens 30
3.3. Bewertung einiger passiven Strategien 34
3.3.1. Klimatische Bedingungen der zwei analysierten Tage 35
3.3.2. Materialeigenschaften und Bauteile 37
3.3.3. Parameterstudie 39
3.3.4. Schlussfolgerungen 42

Entwurf **45**

4. Birzebbuga und die Marsaxlokk Bay 46

4.1. Eine Wanderung durch Birzebbuga 48
4.2. Das Entwurfsgebiet, “Il-Friefet” 50
4.3. Konzept 52
4.4. Pläne und Schnitte 53
4.5. Wohntypen 64
4.6. Details 69

Berechnung **71**

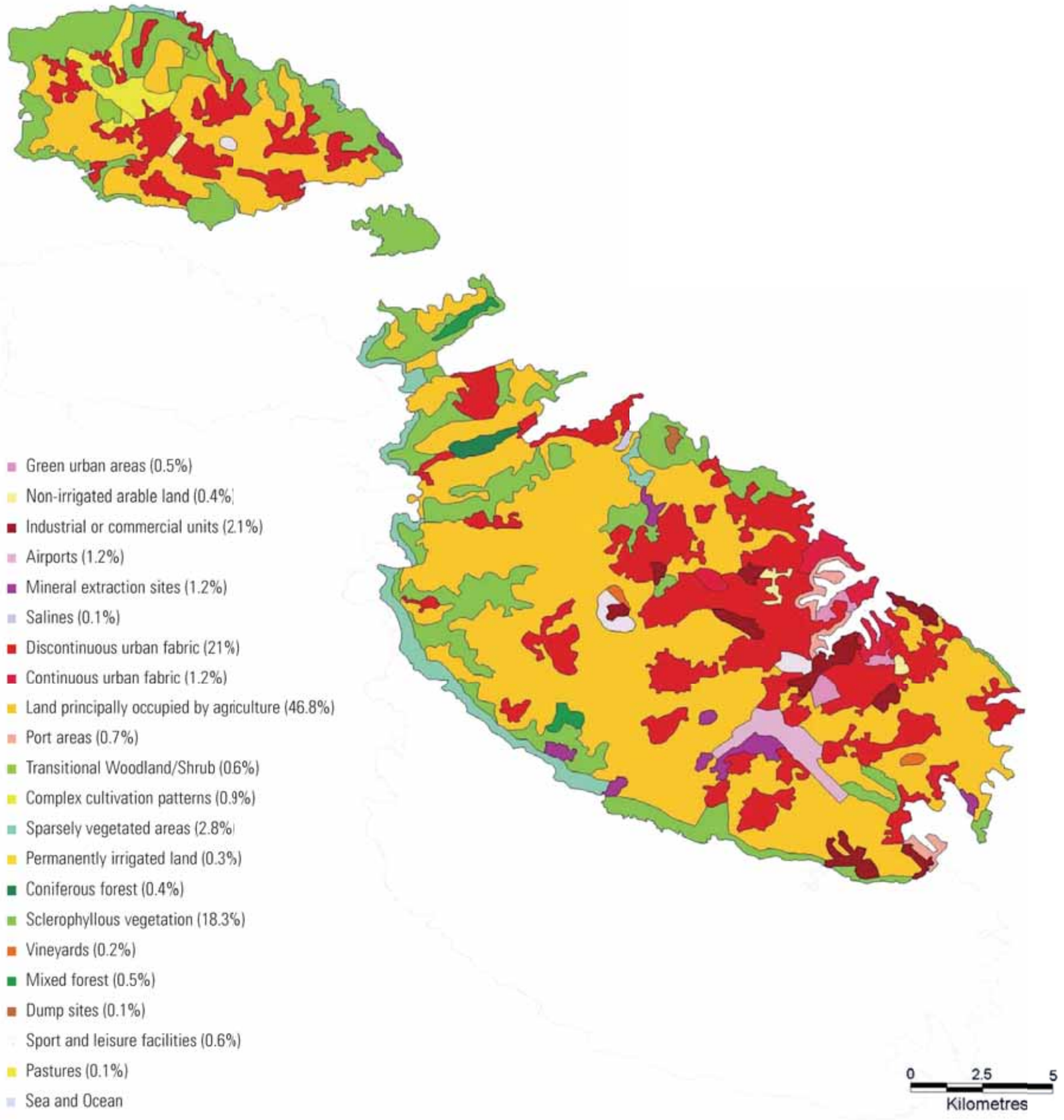
5. Einflüsse baulicher Maßnahmen auf das winterliche und sommerliche Verhalten 72

5.1. Klimadaten 72
5.2. Durchführung der Berechnung-Parameterstudie 74
5.2.1. Geometrie der analysierten Wohntypen und konstant gehaltene Parameter der Berechnung 74
5.2.2. Orientierung der Fensterfläche und Verschattungsgeometrie 76
5.2.3. Wärmedurchgang durch die Außenwände 79
5.2.4. Eigenschaften des Dachs 82
5.2.5. Dämmung der Bodenplatte 84
5.2.6. Effekte verstärkter Nachtlüftung auf den sommerlichen Temperaturverlauf 86
5.3. Nutzung weitere Maßnahmen 87
5.4. Schlussfolgerungen 88

Literaturverzeichnis **90**

Abbildungverzeichnis **92**

Anhang **94**


Green urban areas (0.5%)
Non-irrigated arable land (0.4%)
Industrial or commercial units (2.1%)
Airports (1.2%)
Mineral extraction sites (1.2%)
Salines (0.1%)
Discontinuous urban fabric (21%)
Continuous urban fabric (1.2%)
Land principally occupied by agriculture (46.8%)
Port areas (0.7%)
Transitional Woodland/Shrub (0.6%)
Complex cultivation patterns (0.9%)
Sparsely vegetated areas (2.8%)
Permanently irrigated land (0.3%)
Coniferous forest (0.4%)
Sclerophyllous vegetation (18.3%)
Vineyards (0.2%)
Mixed forest (0.5%)
Dump sites (0.1%)
Sport and leisure facilities (0.6%)
Pastures (0.1%)
Sea and Ocean
0
2.5
5
Kilometres

Umwelt und Energie

1. Einleitung

Die Diplomarbeit untersucht das Potential passiver Planungsmaßnahmen für Wohnhäuser der Insel Malta. Die Wahl dieses Ortes kommt von meiner persönlichen Faszination für diese Insel und besonders für die Beziehung zwischen Architektur und Umwelt. Dieses anfängliche Interesse hat sich in einer Rechercheperiode am IET ("Institute of Energy Technology" der Universität von Malta, heute "Institute for Sustainable Energy") konkretisiert, wo ich verschiedene Aspekte des Einflusses des Klimas auf die Gebäude der Insel untersucht habe. Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung entwickelte ich einen Entwurf für eine Wohnsiedlung im südlichen Teil der Insel.

1.1. Die energetische Perspektive

Malta befindet sich in einem besonderen Umweltkontext und hat verschiedene energiespezifische Probleme. Der maltesische Archipel teilt sich auf drei Inseln und vier Inselchen auf. Die größten Insel sind Malta mit etwa 246 km², Gozo mit ca. 67 km² und Comino mit 3 km². Auf dieser Fläche wohnen 413.609 Einwohner (Stand: 2008 [NSO09]), mit einer der höchsten Bevölkerungsdichten der Welt, nämlich 1,260 Personen auf km² [FFY05].

Die drei Inseln haben eine einzige Energieversorgung, sind aber vom internationalen Netzt getrennt. Daher erfolgt die gesamte Energieversorgung von Malta durch die Importe von Fossilenergieträgern, die von zwei Ölkraftwerken verarbeitet werden, wodurch eine gesamte Kapazität von 571 MW [FFY05] erreicht werden kann. Aufgrund seiner Größe und Isolation, sowie der Menge der Stromerzeugung (die 2,500 GWh nicht überschreitet [FFY05]) bezeichnet man Malta bis heute als ein kleines, isoliertes System. Diese Situation könnte sich aber ändern, da es Ideen gibt eine Verbindung zu Sizilien von 93 km Länge unter Meeresgrund zu realisieren. Konkreter noch sind aber die Pläne der "Enemalta Corporation" (dem einzigen Stromproduzent der Insel), die eine Erhöhung von 100 MW der gesamten Erzeugungskapazität erreichen will [FFY05].

Der Strom wird im konsistenten Teil auch für die

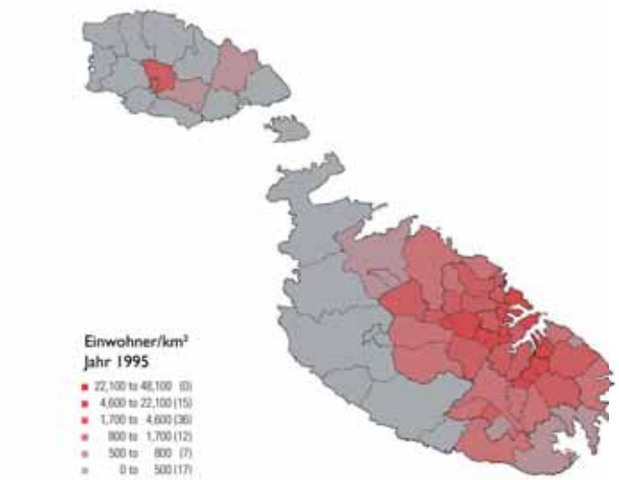


Abb. 1: Verteilung der Bevölkerungsdichte auf der Insel [MEP05]

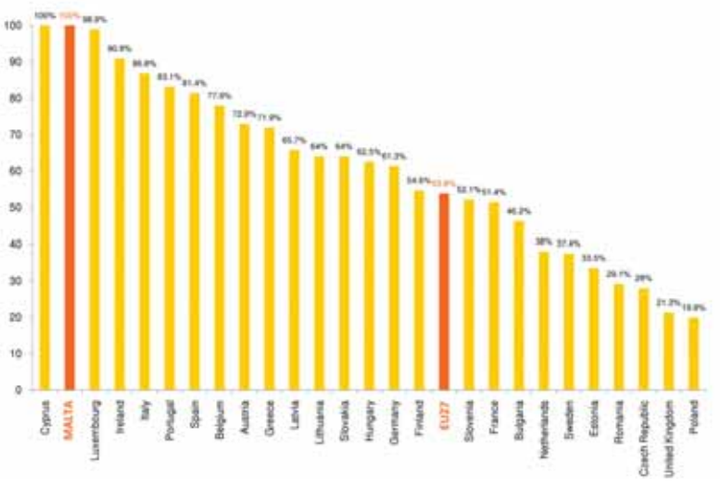


Abb. 2: Energieimport in der europäischen Union [MEP05]

Süßwasserversorgung verwendet. Die Verfügbarkeit von Trinkwasser stellt nämlich eines der größten Probleme in Malta dar. Der jährliche Trinkwasserbedarf beläuft sich auf rund 21.000.000 Kubikmeter [MEP05], allerdings besitzt das Land selbst nur äußerst spärliche Süßwasservorkommen. Während die kurzen, kräftigen Regenfälle im Winter in der Regel zum größten Teil ungenutzt ins Meer fließen anstatt das Land nachhaltig zu bewässern, sind die Niederschläge im Sommer sehr knapp und der Wasserkonsum aufgrund der großen Touristenzahl sehr hoch. Auf diese Weise gehen jährlich fünf bis zehn Prozent (umgerechnet etwa 8.000.000 bis 17.000.000 Kubikmeter Wasser) des Niederschlages verloren. 75 bis 80 Prozent verdunsten und nur 15 bis 20 Prozent füllen die unterirdischen Wasserreservoirs und Quellen auf [MEP05]. Das Verhältnis der Verfügbarkeit von erneuerbarem Trinkwasser pro Einwohner ist nach dem in Libyen das zweitgeringste der gesamten Region und den Angaben der Vereinten Nationen zufolge ist Malta das wasserärmste Land der Erde.

Um den Bedarf wenigstens teilweise zu decken, bedient man sich so genannter Tiefbrunnen. Diese können die Wasserversorgung jedoch auf Dauer auch nicht gewährleisten, zumal sie durch übermäßige Wasserentnahme über die Jahre versalzt sind. Aus diesem Grunde ist ihre Benutzung knapp und sie sind nur noch in der Landwirtschaft und bei der Versorgung öffentlicher Einrichtungen im Einsatz. Als parallele Methode haben sich vier Umkehrosmoseanlagen (Meerwasserentsalzungsanlagen) und eine Brauchwasseraufbereitungsanlage etabliert, die die erforderliche Leistung bringen. Auf Grund der zunehmend steigenden Kosten für die fossilen Brennstoffe, mit denen die Energie für diese Anlagen generiert wird, und der damit verbundenen Umweltverschmutzung hat die Regierung nun allerdings die Trinkwassermenge, die dort hergestellt werden darf, begrenzt. Der Energiekonsum für die Wasserversorgung beträgt 5 bis 8 % der gesamten Energieproduktion der Insel [FFY05].

Eine weitere Versorgungsmöglichkeit bieten natürliche und künstliche, unterirdische Wasserreservoirs.

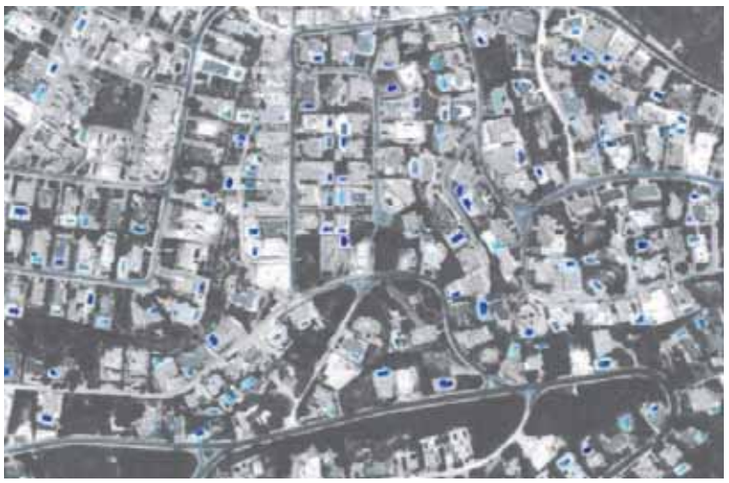


Abb. 3: Schwimmbäder in Mellieha



Abb. 4: Umkehrosmoseanlagen

Im porösen maltesischen Kalkstein schwimmt das Frischwasser teilweise ähnlich einer Ghyben-Herzberg-Linse über der Salzlauge. In Siġġiewi, im südwestlichen Teil der Insel, befindet sich die 1963 fertiggestellte “Water Services Corporation’s Groundwater Pumping Station”. Von dieser Pumpstation gehen in einer durchschnittlichen Tiefe von 97 Metern unter der Oberfläche radial die “Ta’ Kandja galleries” ab, sechs zusammengerechnet gut 6,2 Kilometer lange Tunnel, in denen sich das Frischwasser sammelt und aus denen es herausgepumpt werden kann. Unter den Dörfern Maltas verlaufen insgesamt knapp 42 Kilometer solcher Tunnel, die das Wasser entweder auffangen oder es in Reservoirs weiterleiten.

Dennoch ist Malta nach wie vor auf die Hilfe des Auslandes angewiesen und erhält beispielsweise während der Sommermonate stets Tankerladungen mit Trinkwasser aus Sizilien, die in das heimische Netz eingespeist werden.



Abb. 5: Ölkraftwerk in Marsaxlokk

1.2. Das Potential von erneuerbaren Energieresourcen

Trotz dieser unvorteilhaften Umstände zeigen die klimatischen Bedingungen der Insel ein bedeutendes Anwendungspotential für erneuerbare Energiesysteme. Untersuchungen und Experimente der IETs schätzen den Effekt einer möglichen Nutzung von Photovoltaik- und Solaranlagen, Windkraftwerke und Biogas auf die gesamte Energieproduktion als positiv ein. Verschiedene Recherchen zeigen wie die hohe Menge von Sonneneinstrahlung (die Solareinstrahlung wird am Institut seit dem Jahr 2003 kontinuierlich gemessen) die Anwendung von Photovoltaiksysteme fördern kann. Abb. 6 zeigt die mittlere monatliche Tagessumme der Globalstrahlung in Vergleich mit den Werten anderer europäischen Städte um das Potential der Nutzung dieser Art von Energiegewinnung zu zeigen. Gleichzeitig besteht der Jahresverlauf aus 62% klarer, unbewölkter Tage und mittlereweise werden nur 11 Tage im Jahr (3%) als sehr bewölkte Tage ausgewiesen [FFY05]. Einige Recherchen über eine massive Anwendung von Photovoltaikpaneelen

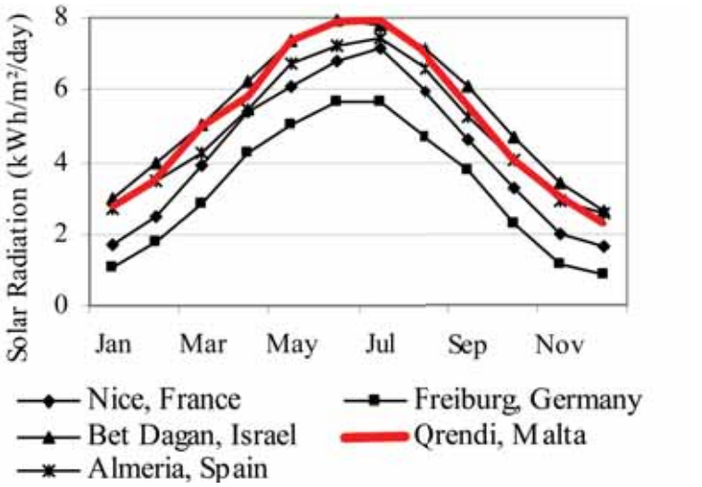


Abb. 6: Mittlere monatliche Globalstrahlung für verschiedene Städte am Mittelmeer [FFY05]

auf den nutzbaren Dachoberflächen der Gebäude prognostizieren eine Abdeckung von 9,1% der jährlichen Energieproduktion der Insel (gerechnet auf das Jahr 2003) [FFY05].

Gleichzeitig erscheint das Potential von Solaranlagen noch nicht ganz erschöpft. Es wird gerechnet, dass heutzutage die Installationsfläche von Solarpaneelen nur die 8% der potentiellen Anwendung in Häusern abdeckt. Eine ausreichende Nutzung von Solarkollektoren kann nur zur einer Reduktion von 4,8% des gesamten Energieverbrauchs der Insel führen (auf das Jahr 2003) [FFY05].

Neben den Solarsystemen zeigen gemessene Windstärken und topographische Beschaffenheit ein vorteilhaftes Potential für die Nutzung der Windressource. Aufgrund der hohen Küste und der dünnen Urbanisierung ist der südwestliche Teil der Inseln besonders geeignet für die Installation von Windkraftanlagen. Das charakteristischste geographische Merkmal Maltas ist nämlich die Verschiedenheit seiner Küstenlinien, was sich besonders auf der Hauptinsel offenbart. Sind die Ost- und die Nordostseite von flachen Stränden und weiten Buchten geprägt, so finden sich im Südwesten und Norden sehr hohe Küstenabschnitte mit Felsformationen und grottenähnlichen Einschnitten. Auf dieser Seite erhebt sich Malta sehr schroff aus dem Meer und bildet langgezogene windige Steilküsten, die an den “Dingli Cliffs” kulminieren, der mit 253 Metern Höhe höchsten Erhebung des Landes. Es wurde berechnet, dass die Energieproduktion von Windkraftanlagen in diesen Zonen voraussichtlich 5,4% der Energieproduktion des Jahres 2003 erreichen kann [FFY05]. Eine eventuelle Anwendung von Windanlagen in offener See vor der Küste (wegen der Knappheit von freiem Land) würde 3,4% der Produktion abdecken [FFY05].

Aufgrund dieser Voraussetzungen sowie wegen hoher ökonomischen Kosten und Umweltbelastung wegen der Nutzung von fossilen Ressourcen, werden die Regierungsinstitutionen und die Bevölkerung immer mehr bezüglich des energetischen Problems und der möglichen Nutzung von erneuerbaren Energien sensibilisiert. Besonders seit dem EU-Beitritt von Malta im Jahr 2004 gibt es viele verschiedene Ideen für

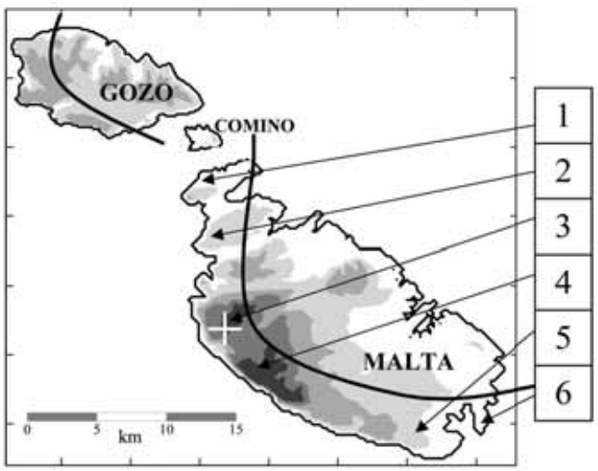


Abb. 7: Windmessungen vom IET [FFY05]

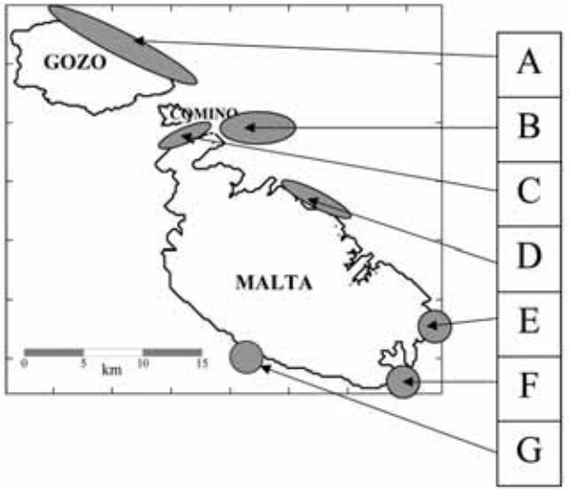


Abb. 8: Günstige Küstenzonen für Windkraftanlagen [FFY05]

die Finanzierung und die Reglung dieser Systeme. Die Umweltbelastung und die Knappheit von nutzbarem Land für die Installation von großen Anlagen sowie die Produktion und Lieferungskosten für Materialien und Produkte erfordern jedoch eine tiefgehende Reflexion darüber, welche Energieproduktionsart günstig und gleichzeitig nachhaltig für Malta ist.

1.3. Die Notwendigkeit eines passiven Eergiekonzeptes

Die Diskussion über Kosten und die richtige Wahl der möglichen Energieressourcen für Malta stellt nachdrücklich die Frage wie in diesem „kleines, isoliertes System“ eine Reduzierung der gesamten Energieverbrauch und die Formulierung von passiven Energiekonzepten erreicht werden kann. Das ist besonders beeindruckend, wenn man die energetische Situation der maltesischen Häuser analysiert.

Verschiedene Recherchen [Fsa05] zeigen die Steigerung des gesamten Energiekonsums der Insel bis zum Jahr 1995 bei einem mittleren jährlichen Niveau von 6%. Ab diesem Zeitraum hat sich der jährliche Verbrauch um 1,1% verringert. Fossile Energieträger werden für Stromerzeugung und Verkehrsmittel verwendet. Wie man in Abb. 9 erkennen kann ist der häusliche Sektor der größte Nutzer von Elektrizität. Gleich danach folgen der kommerzielle und industrielle Sektor.

Diese progressive Erhöhung der Energienutzung im ökonomischen Bereich erklärt sich durch die Steigerung der wirtschaftlichen Aktivität. Anderseits kann die Energiesteigerung im häuslichen Sektor nicht nur mit dem Anstieg der Bevölkerung erklärt werden (die Zahl der Einwohner steigt jedes Jahr durchschnittlich um 1,1%), sondern hängt mit einem verstärkten Einsatz von Klimaanlagen und besonders mit Kompressionskühlanlagen zusammen. Man findet nämlich eine umständliche aber plausible Entsprechung zwischen Stromnachfrage und Temperaturverlaufes im Laufe des Jahres, mit einer bedeutende Steigerung der Energienutzung während des Sommers (Abb .10). In der Vorausschau, erwartet man die Steigerung der Diffusion von Klimaanlagen und besonders der Kompressionskühlanlagen in häuslichen Sektor mit einer folgenden Erhöhung des Energiekonsums.

In diesem Zusammenhang sind passive Planungsmaßnahmen für die Reduzierung des Energieverbrauchs von großer Bedeutung. Insbesondere

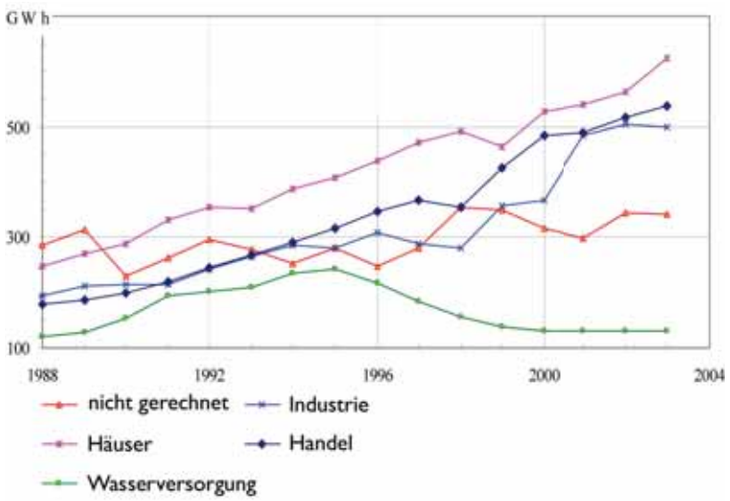


Abb. 9: Mittlerer jährlicher Energieverbrauch [Fsa05]

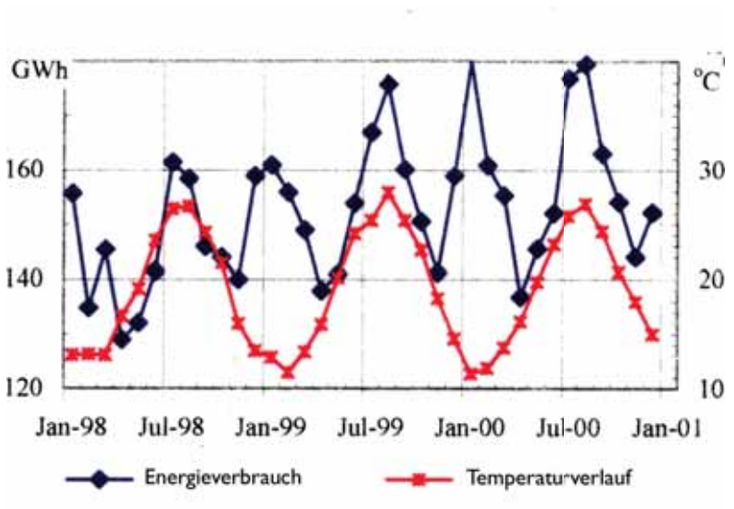


Abb. 10: Energieverbrauch und Lufttemperatur [Fsa05_1]

sind wegen der sehr hohen Temperaturen und der hohen Luftfeuchtigkeit Methoden für die sommerliche Kühlung zu betrachten. Besonders wichtig ist auch das Thema der Wassersammlung.

Die Arbeit zeigt eine historische Analyse einiger bedeutenden Gebäudetypologien und Beispiele der Insel in Beziehung mit der klimatischen Besonderheit von Malta. Es folgt eine Recherche und eine rechnerische Simulation um einige geometrische und einfache Maßnahmen für die Raumbehaglichkeit einschätzen zu können. Als praktische Anwendung wird der Entwurf von einer Siedlung mit 60 Wohnungen gezeigt. Die rechnerische Analyse des Entwurfes versucht einige Anweisungen für mögliche Entwurfsprozesse auf Malta zu geben.



Geschichte

2. Klimatische Eigentümlichkeiten der historischen Architektur auf Malta

In der maltesischen Architekturtradition erkennt man verschiedene Bauformen und Wohntypologien. Deren Entwicklung erklärt den Einfluss von den Umweltbedingungen der Insel auf das Leben der Menschen und die Gestaltung der Gebäude. Unter diesen Konstruktionen sind vor allem drei Typologien besonders hervorzuheben: “Il-Girna”, eine kleine Trockenbauhütte für Schäfer und Hirten, “Ir-Razzett”, das ländliche Bauernhaus, und die “Terraced Houses”, schmale Reihenhäuser, welche die urbane Landschaft der Insel charakterisieren.

Das Kapitel präsentiert die Charakteristiken und die Entwicklung dieser Bauformen in der Geschichte und untersucht einige Probleme der heutigen Wohnqualität in einem historischen Zusammenhang. Danach werden zwei Beispiele vorgestellt, welche ein Klimatisierungskonzept mit der Nutzung passiver Kühlungsmethoden anwenden. Diese sind das “Malta Stock Exchange”, der Sitz der maltesischen Börse, bei dem ein Belüftungssystem mit Verdunstungskühlung zur Anwendung kommt und weiters die Halle der “Farson Brewery”, Getränkhersteller der Insel, wo die Luftzirkulation durch Belüftungskamine eine sommerliche Temperatur unter 27°C ermöglicht.

2.1. Das Baumaterial

Die Gebäudegestaltung für die verschiedenen Typologien und Beispiele ist stark von der Nutzung des lokalen Steins beeinflusst. Das einzige verfügbare Baumaterial auf Malta ist nämlich der Globigerina-Sandstein, welcher die Formation des Unterbodens charakterisiert. Die Sandsteinschicht ist nämlich eine der fünf Hauptformationen und variiert mit einer Dicke zwischen 20 und 200 cm (Abb. 11). Dieser Stein ist das Ergebnis einer fortlaufenden Ablagerung verschiedener Sedimente (Globigerina-Kalk, blauer Ton und organische Schichten) mit einer variierenden Konzentration. Das für die Konstruktion verwendete Material liegt in der niedrigen Schicht der Formation des Globigerine-Sandsteins („Lower Globigerina Limestone“) [Cas07]. Da die anderen Baumaterialien importiert werden, ist die Nutzung dieses

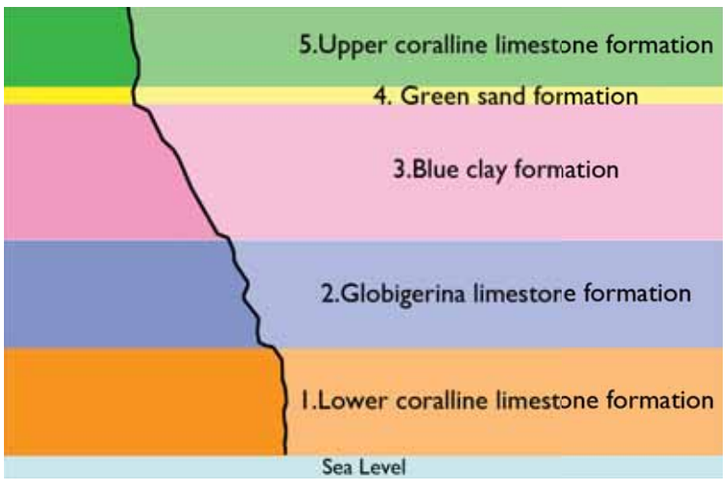


Abb.11: Die geologische Formation der Insel



Abb.12: Grube in Gozo

weichen und porösen Steins noch heute weitverbreitet. Heutzutage sind verschiedene Steingruben auf der Insel in Nutzung und die Sandsteinziegel bleiben das billigste Konstruktionselement im Markt. Trotz dieses erkennbaren Vorteils stellt sich die Frage ob der kontinuierliche Abbau dieser Ressource nachhaltig ist und ob nicht neue Konzepte für die Einsparung oder Wiederverwendung der Materialien denkbar sind.

2.2. Il-Girna

Die Giren (sing. Girna) sind kleine Steinkonstruktionen von unterschiedlicher Größe und Gestaltung, die in der baulichen Tradition von Malta als Schutzhütte für Schäfer und Hirten diente. Diese Typologie ist im unverstädterten Teil der zwei größten Insel und besonders im Norden Maltas weit verbreitet. Die einfachen und nicht überdachten Gebäude, die sogenannten Dura, sind noch heute als Hirtenhütten in Gebrauch. Wenn die Struktur als Kraggewölbe aus unbearbeiteten Feldsteinen gebaut wird, spricht man genauer von einer Girna. Ihre Wände bestehen aus einer sorgsam geschichteten äußeren und einer inneren Mauer, während der Zwischenraum lose verfüllt ist. Die Gestaltung dieser Konstruktionen kann zylindrisch oder mehr kubisch sein und die Dächer sind flach oder kuppelförmig, mit verschiedenen Komplexitätsvariationen.

Einfachheit der Konstruktion, massive Struktur und kleine Öffnungen sind Hauptcharakteristiken, die den Zweck dieser temporären Hütte erklären. Diese oft improvisierten Gebäude waren nämlich für wenige Tage während der Weide der Herden ein ausreichender Schutz gegen die kalten Nordwinde im Winter und eine ausreichende Beschattung gegen die starke Sonneneinstrahlung während des Sommers. Der kleine Eingang und eventuell eine kleine Öffnung darüber, stellten eine ausreichende Belichtung und Belüftung dar. In einigen Beispielen gibt eine rundum führende Rampe oder eine Treppe die Möglichkeit auf das Dach zu steigen (Abb.23), um die Meeresbrise während den heißen Nächten im Sommer zu spüren oder einen besseren Blick auf die Umgebung sicherzustellen.



Abb.13: Id-Dura



Abb. 14: Il-Girna [Fsa92]

2.3. Ir-Razzett

Das maltesische Landhaus, “Razzett”, entwickelt sich normalerweise auf zwei Geschoßen rund um einen Hof. Fast alle Räume schauen durch eine Säulenhalle in den zentralen Raum und haben wenige und kleine Fenster nach außen. Der Hof hat in der traditionellen Nutzung eine wesentliche Rolle für das Leben und Arbeiten der Bauern. Im Erdgeschoß waren die Lagerräume für Waren und Werkzeugen sowie die Viehställe, da die Tiere ein wesentliches Unterhaltmittel und Hilfe in der Landarbeit darstellten. Gleichzeitig ist dieser Raum Schutz gegen die winterlichen Nordwinde und entscheidend für die Wassersammlung. Da nämlich bis in die sechziger Jahre kein System für die Nutzung des Wassers im Erdboden des Meeres bekannt war, wurde das Regenwasser vom Flachdach dieser Häuser gesammelt und in Brunnen und Zisternen kanalisiert.

Eine äußere Treppe führt ins erste Geschoß, wo man gewöhnlich Küche, Wohnräume und Schlafzimmer findet. Der Zugang zu den Räumen bildet eine überdachte Loggia, die von Arkaden an der Fassade charakterisiert wird. Die Schlafzimmer und die anderen Räume sind dennoch miteinander verbunden.

Die Loggia und die Öffnungen der verschiedenen Räume sind nach Süden orientiert. Diese Lagerung hilft einerseits der Beschattung und der Durchlüftung der Räume im Sommer. Anderseits ermöglicht es den Schutz gegen kalte Winde und die Erwärmung der Räume im Winter, da die Solarstrahlung wegen der niedrigen Höhe der Sonne tief in das Gebäude eindringen kann.

Die Bauweise nutzt für die tragenden Wände eine Doppelhaut aus großen Sandsteinziegeln (die Größe eines traditionellen Ziegels ist 22,8 x 60,9 x 26,5 cm). In alten Bauernhäusern kann die Dicke der äußeren Wände 129 cm, der inneren tragenden Elemente 76 cm erreichen [Jac02].

Das Dach wird mit Steinbalken und selten mit Holzbalken und Steinplatte gebaut. Da die Spannweite der Decke mit Steinbalken nicht mehr als 2 m sein kann, werden viele verschiedene Systeme mit Arkaden und Gewölben benutzt.



Abb.15: Kleines Farmhaus in Nadur [Jac02]



Abb.16: Razzett in Gozo [Jac02]

2.4. The terraced House

Die Struktur der maltesischen Städte wird von wenigen Haustypologien charakterisiert und ist zumeist in schmalen und langen Parzellen gegliedert. Das terraced House ist ein Reihenhaus auf zwei oder drei Ebenen und bildet den Großteil des urbanen Raums auf der Insel.

Die ersten Beispiele dieses Haustyps sind eine Zusammensetzung ländlicher Hofhäuser von ein oder zwei Geschoßen und entstanden als sich die ersten Gemeinschaften von Fischern und Bauern rund um eine Pfarrkirche zu organisieren begannen (Abb.26) [Buh07]. Die Typologie hat danach durch die Engländer (Malta war britische Kolonie zwischen 1802 und 1964) ihre spezifische Bezeichnung erhalten.

In der ursprünglichen Konzeption entwickelt sich das Haus rund um ein Patio, welches Beleuchtung und Belüftung für die innere Räume sichert. Im Erdgeschoß findet man die Wohn- und Diensträume. Im Patio gibt es die Stiege, die zum Niveau der Schlafzimmer führt (Abb.28).

Die schematische Verteilung eines terraced House bleibt bis zum Ende des 18. Jahrhundert ungefähr gleich. Mit dem Bevölkerungswachstum im 19. Jahrhundert werden die Reihenhäuser verkleinert oder in verschiedene Wohnungen geteilt. Der große innere Patio wird immer kleiner oder verteilt sich in verschiedene Licht- und Belüftungskamine. Ein Hofgarten oder eine Terrasse wird im hinteren Teil des Hauses gewonnen (Abb.29).

Die fortschreitende Verkleinerung von Zimmern, Patio und Terrassen hat im Laufe der Zeit und besonders in den letzten Jahren zu einer wesentlichen Verschlechterung der Raumqualität geführt. Gleichzeitig bieten die immer schmaleren Wohnungen weniger Belichtungs- und Belüftungsmöglichkeiten und fördern die unzureichende Berücksichtigung von Gebäudeorientierung und -öffnungen. Die immer dünner werdenden Bauelemente verschärfen die thermische Unbehaglichkeit.



Abb.17: Terraced Houses in Hamrun



Abb. 18: Eine Straße auf Malta

2.5. Malta Stock Exchange

Der Sitz der maltesischen Börse liegt im renovierten Gebäude der alten “Garrison Church”, einer Ikone der kolonialen Architektur des 19. Jahrhunderts, auf einer der Bastionen des Grand Harbour in Valletta.

Trotz des äußerlichen Erscheinungsbildes (Abb. 19) entwickelt sich das Gebäude auf sechs Ebenen. Der Entwurf (vom maltesischen Büro “Architecture Project”) enthält eine wesentliche Ausgrabungsarbeit und verschiedene unterirdische Diensträume. In der großen Außenschale der alten Kirche (bis zu 14 m hoch) fügen die Architekten eine leichte Stahlstruktur ein und zeichnen damit eine große zentrale Halle. Flexible Büroräume werden entlang beider Seiten auf zwei parallelen Flügeln mit Trennwänden aus Glas eingerichtet. Die ursprüngliche Holzabdeckung wird mittels Metallanschlüssen und -anker umgebaut.

Die Planung des Klimasystems des Atriums (vom englischen Architekt Brian Ford) sieht interessante passive Kühlungsmaßnahmen mit einer minimalen Nutzung von mechanischen und elektrischen Geräten vor. Das Kühlsystem besteht aus einer Zusammenarbeit verschiedener Verfahren: automatische Dachfenster in einer Höhe von 18 m und Öffnungen am Bodenniveau regeln die Luftzirkulation durch motorisierte Luftklappen; 18 Wassersprühdosen an den Dachöffnungen werden verwendet um einen Kühlungseffekt durch Wasserverdunstung zu erreichen; wenn die innere relative Feuchtigkeit sehr hoch ist, wird die Eingangsluft bei den Dachöffnungen durch Kühlschlange aus Kupferrohren mit kaltem Wasser abgekühlt. Eine Neigung der Rohre von 70° fördert den Lufteingang.

Trotz der positiven Analyse und der detaillierten Planungen der Architekten bleiben verschiedene Zweifel über den Erfolg einer Verdünstungskühlung in Malta, wo die Werte der relativen Feuchtigkeit während des ganzen Jahres sehr hoch sind. Es wären einige Untersuchungen mehr nötig, um die Effekte dieses System auf die thermischen Bedingungen der Malta Stock Exchange betrachten zu können.



Abb.19: “Malta Stock Exchange”



Abb.20: Halle und Nebenräume

2.6. Farson Brewery

In Jahre 1990 wird die neue Produktionshalle der Farson Group (Getränkhersteller und eine der größten Industrie Maltas) der Architekten Alan Short und Brian Ford realisiert. Das Gebäude hat ein besonderes Kühlsystem, die eine innere Temperatur während der heißesten Monate im Sommer unter 27° halten kann [For93].

Das Konzept basiert auf einer doppelschaligen Struktur des Gebäudes und auf mechanischen Öffnungen, welche durch die Anwendung von Sensoren die natürliche Belüftung regeln. Während des Sommers wird die Fertigungshalle von einer äußeren Schale isoliert. Die von den äußeren Wänden absorbierte Wärme wird in den Zwischenraum der Schalen gestrahlt und durch die Belüftung der drei Kühlungstürmen auf dem Dach abgeleitet (Abb. 32). Dieser Luftzirkulationseffekt wird von den Solargewinnen der Gläser auf dem Dach und den Türmen erhöht und die Wärmeabfuhr wird durch die geneigte Dachgestaltung gefördert. Während der Nacht wird die von der Speichermasse des Dachs absorbierte Solareinstrahlung in die Halle abgegeben und durch verschiedene Öffnungen in der äußeren Schale belüftet (Abb. 33).

Die drei massiven Türme nutzen auch der Raumbelichtung, sodass während des Tages kein zusätzliches künstliches Licht für die große Halle notwendig ist. Der Raum zwischen Halle und Außenschale wird für die Distribution im inneren des Gebäudes und für verschiedene Bedienungsräume verwendet.



Abb.21: Farson Brewery, Process Hall

Il-Girna

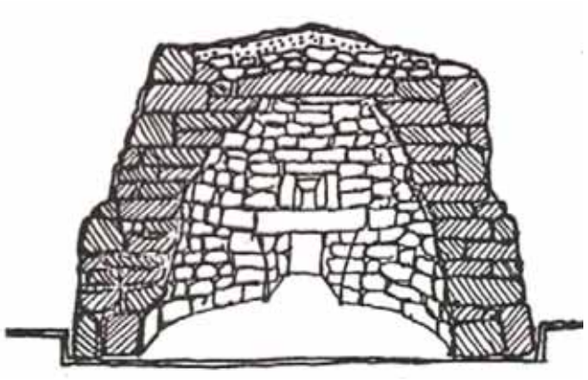
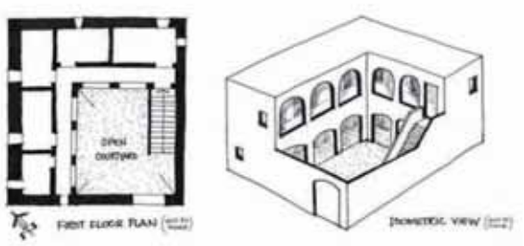


Abb.22: Die Struktur eine Girna



Abb.23: Girna mit Treppen in Ix-Xaghra l-Hamra [Jac02]

Ir-Razzett



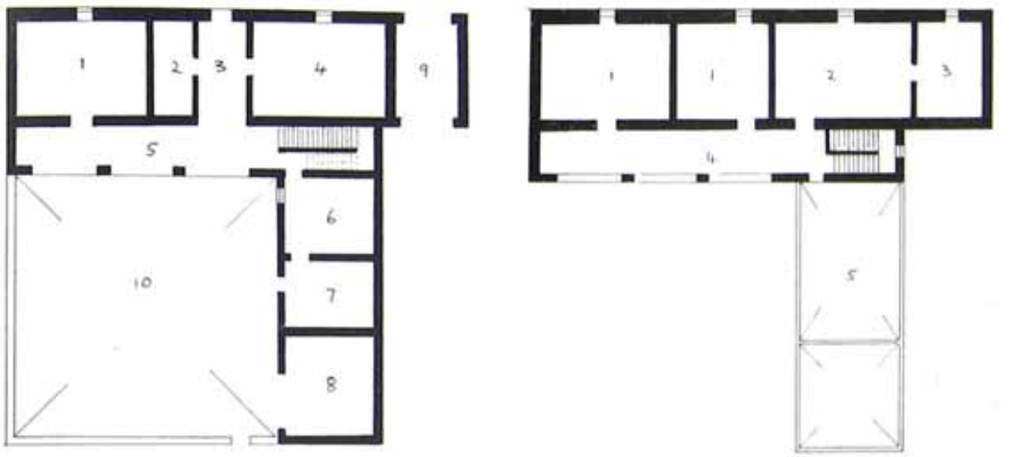


Abb.24 und 25: Verteilung eines typischen Bauernhofes [Buh07]
Mitte: Erdeschoss. 1,2,4,9: Diensträume; 3: Eingang; 5: Loggia; 6,7,8: Ställe; 10: Hof
Links:Ertes Geschoss. 1: Schlafzimmer; 2:Wohnzimmer; 3: Küche; 4: Loggia; 5:Terrasse

Terraced House

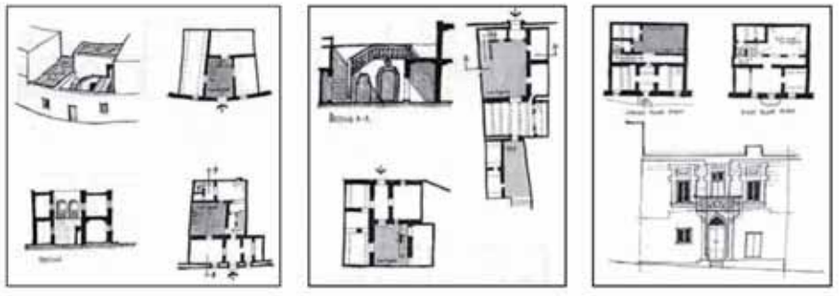


Abb. 26 (oben): Der Einfluss des Hofhauses zum “Terraced House” [Buh07]
Abb. 27 (links): Die Kirche im urbanen Raum



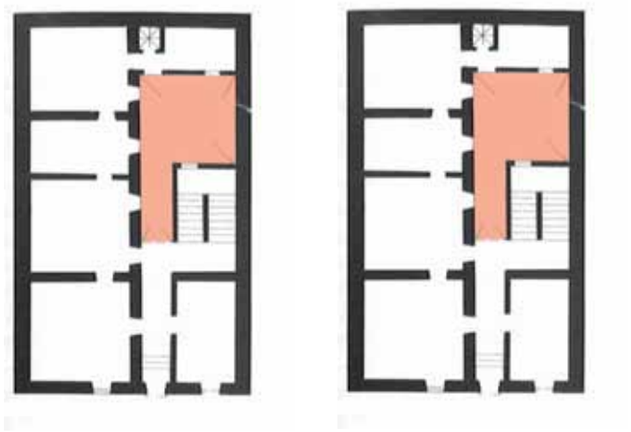


Abb.28: “Terraced house” des 19. Jahrhunderts [Mah96]



Abb.29: “Terraced houses” am Anfang des 20. Jahrhunderts [Mah96]

Malta Stock Exchange

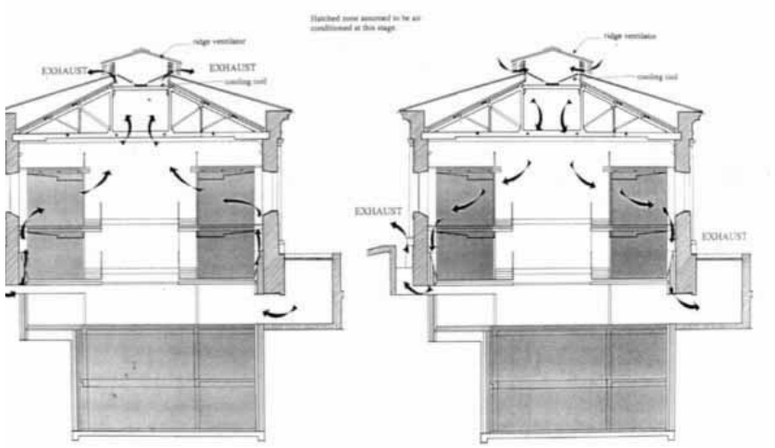
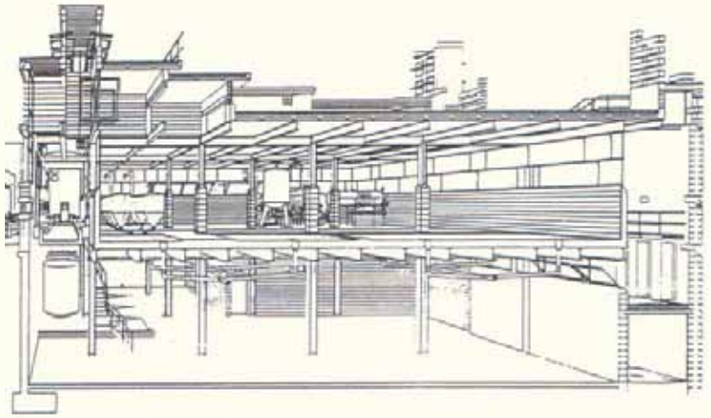




Abb. 30 (oben): Belüftungssystem
Abb. 31 (links): Ansicht des ganzen Gebäudes

Farson Brewery, Process Hall



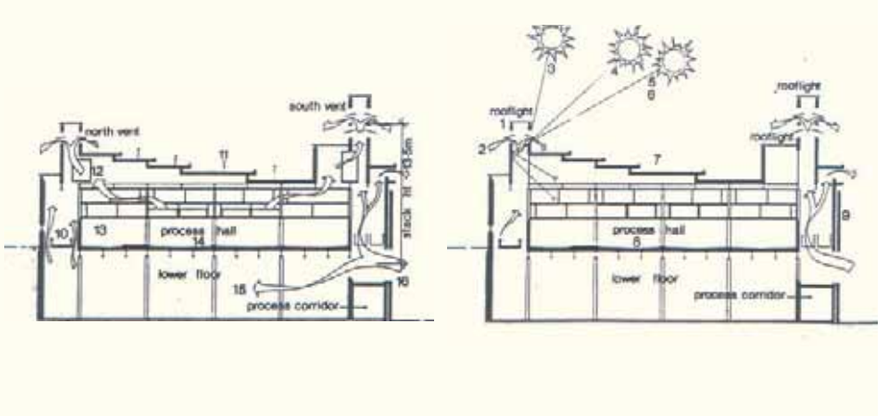


Abb. 32: Querschnitt der Handlungshalle [Ric91]

Abb. 33: Schematische Darstellung des Belüftungssystems [Ric91]



Klima

3. Einfluss des Klimas auf das thermische Gebäudeverhalten

Der Zusammenhang zwischen den klimatischen Bedingungen und der für Malta typischen Gebäudebauweise bildet den Ausgangspunkt der Frage, auf welche Weise passive Maßnahmen ergriffen werden können.

Das Kapitel geht auf die lokalen klimatischen Bedingungen ein und beschreibt deren thermische Einflusse auf ein Untersuchungsgebäude. Die Analyse dient der Beschreibung geometrischer und technischer Aspekte, die beim Maßnahmenentwurf berücksichtigt werden sollten. Als konkretes Beispiel werden einige Experimente des „Institute of Energy Technology“ der Universität von Malta dargestellt, welche den Einfluss des Außenklimas auf die innenklimatischen Bedingungen veranschaulichen. Thermische Simulationen werden durchgeführt, um den Effekt baulicher Vorkehrungen und Maßnahmen auf die Reduzierung des sommerlichen und winterlichen thermischen Einflusses abzuschätzen.

3.1. Das Klima der Insel

Das maltesische Klima wird oft als warmes-mildes maritimes Klima bezeichnet, das durch intensive Solarstrahlung, starke NOO-Winde im Winter und schwachen SO-Wind im Sommer charakterisiert ist [Fsa98].

Eine umfassende meteorologische Datengrundlage steht aber für Malta nicht zur Verfügung, da ausreichende Rohdaten nicht vorhanden sind. Aufgrund dieses Mangels, wurden am IET einige repräsentative Meßwerte mit Standard-statistischen Methoden verarbeitet [Fsa98, Fsa08]. Langfristige Mittelwerte und Schwankungen wurden auf Grundlage der von der britischen Marine im Zeitraum 1957-1978 dürchgeführten Untersuchungsreihe berechnet [Fsa98]. Diese Daten werden mit Messwerten des Institutes verglichen, die seit 1996 registriert wurden. Die Differenz der entwickelten Datengrundlagen zu den langjährigen meteorologischen Daten beträgt 1-3%. [Fsa08].

Die Auswirkungen des Klimawandels zeigen sich durch

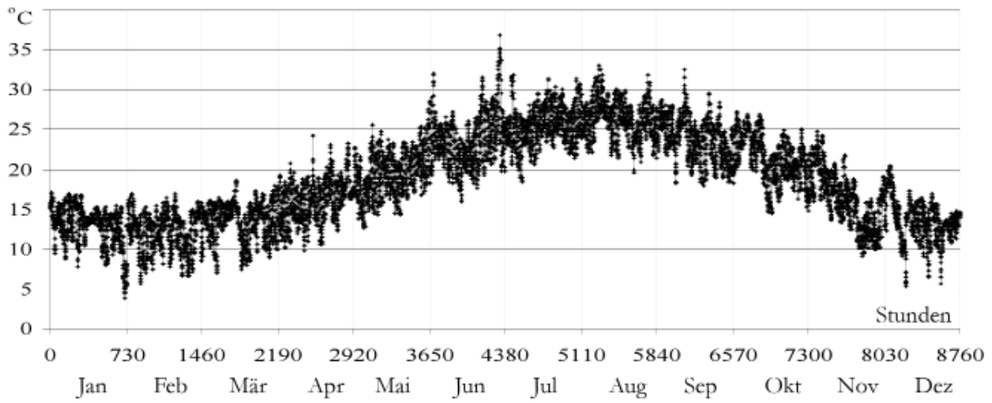


Abb. 34: Stündliche Temperaturverteilung im ganzen Jahr [Fsa08]

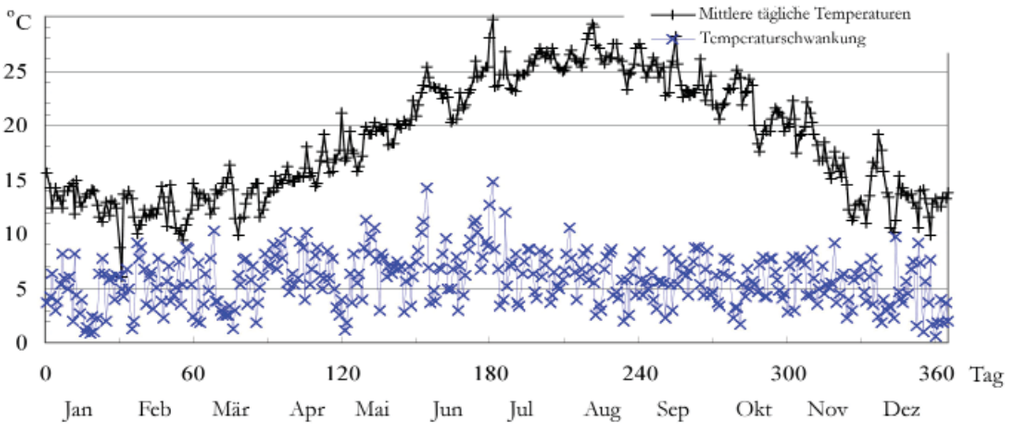


Abb. 35: Mittlere Tägliche Temperatur und Temperaturschwankung [Fsa08]

einen geringen Anstieg der mittleren Temperatur innerhalb der letzten 50 Jahre. Der Mittelwert der Jahre 1950-1960 stieg von 18,68 auf 18,87 im Zeitraum 1980-1990, um dann zwischen 1990-2000 19,38 zu betragen. [MEP06].

Abbildung 34 zeigt die Verteilung der stündlichen Mittelwerte der Außenlufttemperatur. Im Sommer erreichen die Temperaturen Werte, welche augenfällig außerhalb der thermischen Behaglichkeitsbereich [Abb.36] liegen. Dieses Phänomen ist besonders deutlich im Laufe einer Hitzewelle, wenn die Temperatur auch während der Nacht nicht in ausreichendem Maße sinkt. Die Minima liegen durchschnittlich im Bereich von 20-22 °C. Im Winter schwanken die Maxima zwischen 8 und 17 °C und fallen in Extremfällen auf 5 °C, also beachtlich unter die Komfortgrenze.

Die Verteilung der mittleren täglichen Außentemperaturen und Temperaturschwankungen im Jahr wird in Abbildung 35 dargestellt. Die niedrige Temperaturschwankung während einer Hitzewelle kann in mittleren Temperaturen über 25 ° C beobachtet werden. Im Gegensatz dazu, schwankt die Temperatur während einer Kälteperiode um 7 bis 10 °C, wobei die mittleren Temperaturen um die 12 ° C betragen.

In Verbindung mit der Temperatur, hat die Luftfeuchtigkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Raumbehaglichkeit. Wie man in der psychrometrischen Darstellung in Abbildung 36 sehen kann, gibt es im Winter einen langen Zeitraum mit Temperaturen weit unter der Komfortgrenze und mit einer hohen Luftfeuchtigkeit. Gleichzeitig erhöhen starke und kalte Winde von W nach NOO die Wärmeabgabe durch die Gebäudehülle [Fsa06].

In Sommer erreichen die Temperaturen nur für kurze Zeit sehr hohe Werte.

In diesem Zusammenhang ist die Betrachtung der Sonneneinstrahlung wesentlich, um ein sommerliches oder winterliches Planungskonzept zu fördern. Abbildung 37 zeigt die mittlere monatliche Tagessumme der Globalstrahlung auf die verschiedenen Fassadenoberflächen für das Jahr 2003 [Fsa06]. Die Globalstrahlung auf der horizontalen Ebene variiert

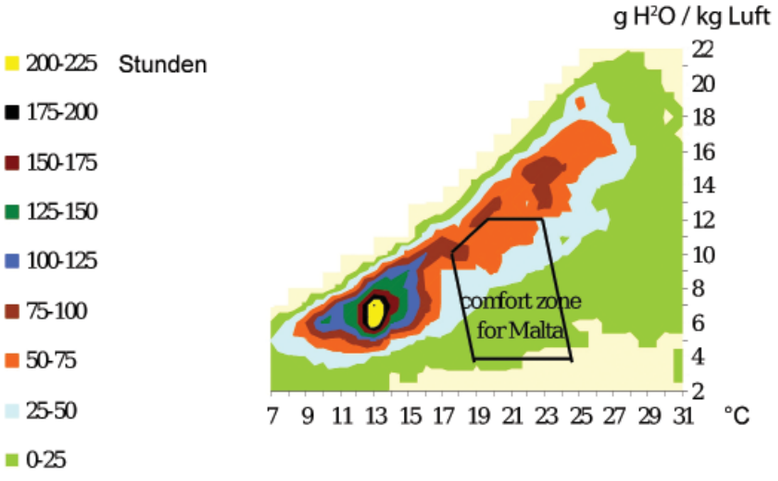


Abb. 36: Psychrometrische Verteilung der absoluten Luftfeuchtigkeit und -temperatur [Fsa08]

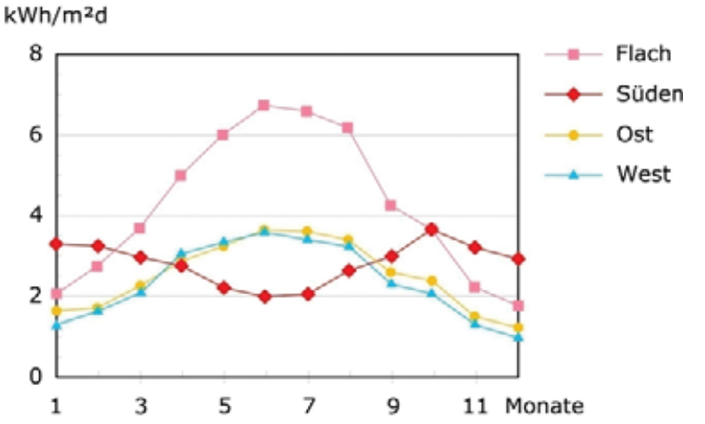


Abb. 37: Mittlere monatliche Tagessumme der Globalstrahlung auf die verschiedenen Fassadenoberflächen im Jahr 2003 [Fsa06]

zwischen Werten rund um 2 kWh/m²d im Winter bis zu 8 kWh/m²d im Sommer, wenn die Sonneneinstrahlung sehr hoch ist. Auf ost- und westorientierten Flächen schwankt die Einstrahlung um einen mittleren Wert von 0,8 kWh/m²d im Winter und 1,6 kWh/m²d im Sommer. Die Einstrahlungsmenge für genau nach Süden orientierte Flächen liegt um 3 kWh/m²d im Winter und 1,4 kWh/m²d im Sommer [Fsa08].

Der Wind spielt eine wesentliche Rolle für die Wetterbedingungen der Insel. In der maltesischen Tradition werden die Windrichtungen so definiert: Grigal (NO), Xlokk (SO), Libic (SW), Majjestral (NW). In Bodennähe sind diese jeweils: feucht und kalt, feucht und heiß, feucht und warm, trocken und kühl. Die Windstärke wird in Abb. 38 gezeigt, wobei sich die Vorherrschaft der Windrichtung von N nach NOO deutlich zeigt, insbesondere in den Wintermonaten.

Ebenso wie die Windbedingungen zeigen die Niederschlagsmengen auf Malta einen stark ausgeprägten Jahresgang. Der mittlere jährliche Niederschlag betrug für den Zeitraum 1990-2005 466 mm. Die höchsten Niederschläge werden im Dezember registriert, mit einem maximalen mittleren Wert von 82 mm. Im Sommer nimmt der Regen drastisch ab und ist im Juli praktisch Null. Es ist zu beachten, dass wegen des Klimawandels das Wetter der Insel immer trockener wird. Die mittleren jährlichen Niederschlagssummen verringerten sich vom Zeitraum 1950-1975 bis zu den Jahren 1975-2000 um 17 %. von 549 auf 453 mm [NSO06].

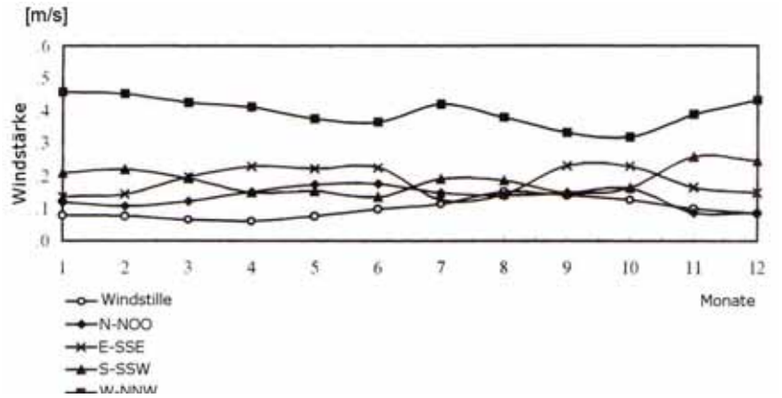


Abb. 38: Windstärke in Abhängigkeit von der Windrichtung [Fsa98]

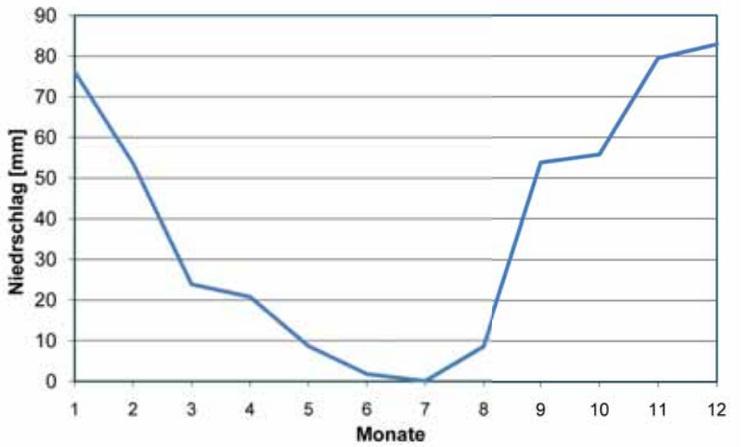


Abb. 39: Mittlere monatliche Niederschlagsmenge für die Jahren 1990-2005 [MSO06]

3.2. Experimentelle Untersuchung des thermischen Gebäudeverhaltens

Um den klimatischen Einfluss auf die Innentemperatur eines Gebäudes zu untersuchen und konkrete Daten zu erhalten, werden seit dem Jahr 2001 am IET Experimente durchgeführt. Die Ergebnisse enthalten wichtige Informationen über den Einfluss von Bauweise und Gebäudegeometrie auf die Innentemperatur.

Ein 10m x 5m x 3m Quader wird im Gelände des IETs mit der langen Seite entlang der Ost-West Achse ausgerichtet. Die Wände bestehen aus einer Doppelhaut mit Kalksteinziegeln innen und hohlen Betonziegeln außen. Das Dach besteht aus einer 15 cm Stahlbetonplatte, 15 cm zerkleinertem Sandstein, 10 cm expandiertem Polystyrol; dies wird mit 5 cm Estrichbeton abgedeckt. Die Fenster sind 3mm Einfachgläser mit Stahlrahmen. Zwei Entfeuchter und drei Ventilatoren werden verwendet, um die Luftfeuchtigkeit auf einem Toleranzniveau zu halten und eine gute Luftmischung zu sichern. Die gesamte Leistungsaufnahme eines Datenerfassungssystems (DES) beträgt 850 W.

Seit August 2001 wird das Gebäude untersucht. Die Temperaturen auf der äußeren und inneren Oberfläche der Gebäudehülle und in der Luft in der Nähe der Fassade werden gemessen und vom DES verarbeitet. Zwei Sensoren registrieren die Luftfeuchtigkeit im Raum.

Das Innere des Gebäudes wird zu Beginn der Messung für zwei Wochen klimatisiert (26°C). Nach zwei Wochen, wenn die Innentemperatur sich stabilisiert hat, wird die Gebäudehülle vollständig mit Kalk überzogen. Danach werden zwei Ventilatoren an den Nord- und Südfenstern angebaut, um den Effekt einer nächtlichen Zwangsbelüftung zu erforschen.

Abbildung 41 zeigt die Auswirkung der hohen thermischen Masse des Gebäudes über die täglichen Schwankungen der Oberflächentemperaturen auf der Nord-und Südfassade im Sommer. Die Temperatur auf der inneren Oberfläche der Nordwand schwankt um 1K, während außerhalb des Gebäudes 10K überschritten werden. Die maximale Temperatur der Außenfläche wird 7-8 Stunden vor der maximalen

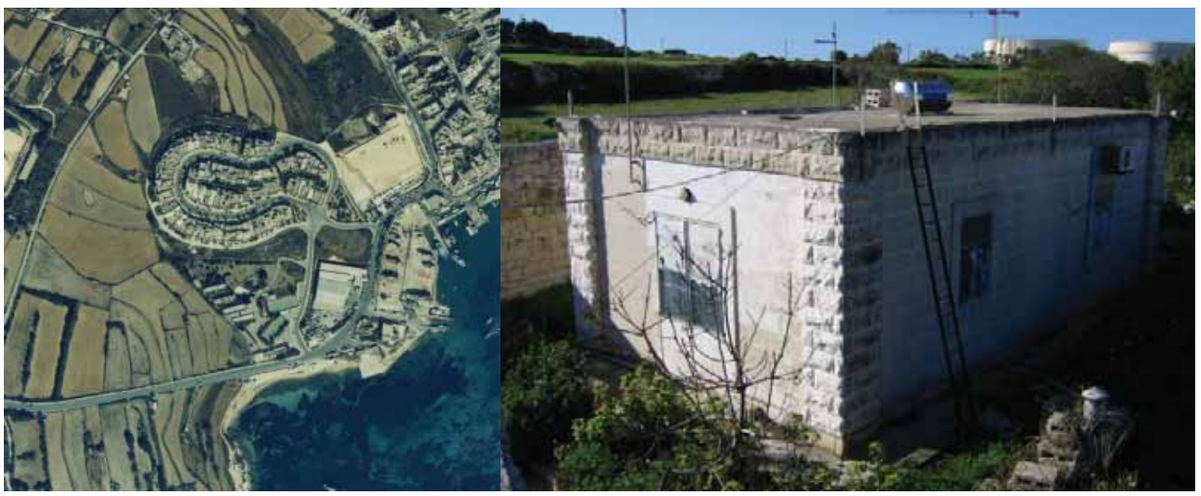


Abb. 40: Das analysierte Gebäude am IET [Fsa02]

Temperatur der Innenfläche erreicht. Die Außenfläche der Südwand erreicht eine höhere Temperatur im Vergleich zur Nordwand. Aber der Effekt auf die innere Oberflächentemperatur bleibt minimal. Die innere Temperatur liegt 1K über der mittleren äußeren Oberflächentemperatur.

Während desselben Zeitraums, bleibt die Temperatur der Decke wegen der Wärmedämmung im Dach nahe der Innentemperatur. Der U-Wert des Dachs beträgt 0,4 W/m²K, jener der Wände nur 1,7 W/m²K.

Im August 2001 wurde das ganze Gebäude mit Kalk überzogen. In Abbildung 42 wird der Effekt dieser Maßnahme auf die äußere Dachoberflächentemperatur dargestellt: die Temperatur sinkt von 50°C auf 35 °C. Während der Nacht fällt die Temperatur auf der Dachoberfläche unter den Wert der Außenlufttemperatur. In diesem Fall zeigt sich die langwellige Strahlung des Dachs gegen die Atmosphäre.

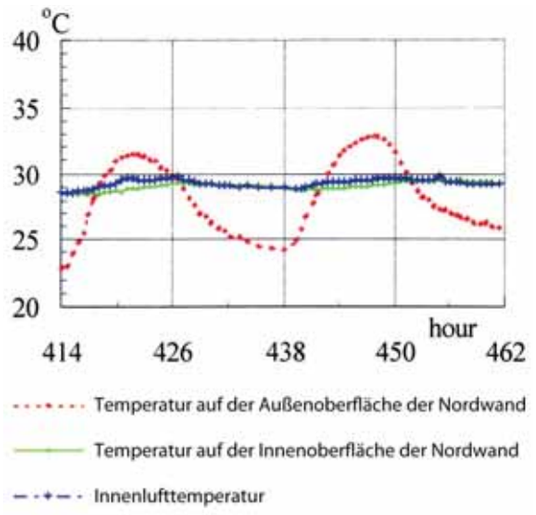
Abbildung 43 zeigt die Effekte der Kalkschicht auf die Ost- und Westfassade. Die Oberflächentemperatur reduziert sich von 40 °C auf 35 °C.

Die Südwand zeigt einen ähnlichen aber weniger ausgeprägten Effekt. Der Sonnenstand im Sommer bewirkt eine geringere Einstrahlung auf die Wand.

Da im Winter Windbedingungen und Bewölkungsdichte sehr wechselhaft sind, kann eine beträchtliche Schwankung der Temperatur auf der Außenoberfläche betrachtet werden. Dieser Einfluss kann im Abb.44 beobachtet werden. Die Temperatur auf der Außenfläche der Süd- und Nordwand folgt dem Verlauf der Außenlufttemperatur.

Während einer Kältewelle im Januar sinkt die Temperatur unter 5°C. Abbildung 45 zeigt, wie die Temperatur auf der Südfassade dem Verlauf der Lufttemperatur folgt. Der Temperaturabfall zwischen Innen- und Außentemperatur erreicht 10K. Die Temperatur auf der Innenfläche der Nordwand folgt in einer sehr gedämpften Schwingung dem äußeren Temperaturverlauf mit einer Temperaturschwankung von 2K.

Die Lufttemperatur in der Nähe der Wand scheint von der Wand selbst beeinflusst zu sein. Allerdings stimmen



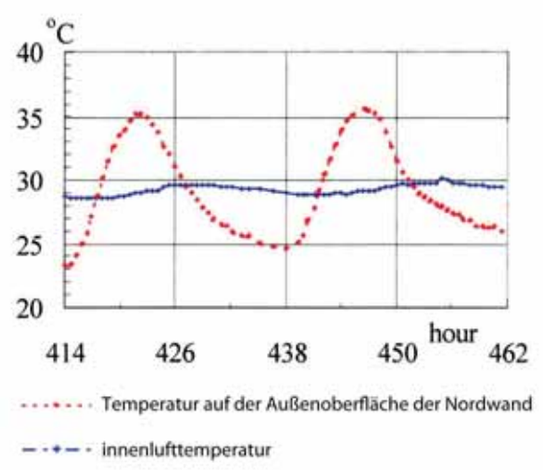


Abb. 41: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 18-20/08/01 [Fsa02]

diese Messergebnisse nicht völlig mit den Daten der Wetterstation des Institutes und denen des Flughafens von Luqa überein. An jedem Ort können Wind und Solareinstrahlung besondere ortsgebundene Effekte erzeugen.

Schlussfolgerungen

Die Wärmespeicherfähigkeit der Wand dämpft die Temperaturamplitude im Sommer von 10K auf der äußeren Wandoberfläche auf 1K auf der inneren Wandoberfläche [Fsa02].

Die Wärmedämmung des Dachs fördert die Entkopplung von der Decke des Gebäudes, was im Sommer den Effekt der hohen Solareinstrahlung auf die horizontale Fläche reduziert [Fsa02]. Der Widerstand der Wärmedämmung sollte mindestens 1,5 m^2K/W betragen [BRO06].

Die Wärmedämmung der Wände ist für die Reduzierung des Wärmedurchgangs im Winter nötig und sollte von der Orientierung der Fassadenoberflächen abhängen. Niedrige U-Werte und Luftdichte können jedoch die sommerlichen Innentemperaturen verschlechtern. [Fsa02]. Die Norm [BRO06] gibt maximale U-Werte für die Wand um 1,51 W/m^2K und für das Dach um 0,58 W/m^2K vor. Weitere Forschungen über das richtige Wärmedämmungsniveau sind aber noch zu entwickeln. [Fsa08].

Helle Oberflächen mit hohem Reflexionsvermögen wirken der sommerlichen Überwärmung entgegen. Wie der Anstrich des Gebäudes mit Kalk zeigt, ist von der Praxis der Abdeckung nicht gedämmter Dächer mit dunklen feuchtigkeitsbeständigen Membranen abzuraten [Fsa02].

Die Innenwärme soll im Sommer klein gehalten werden. Die Abfuhr der während des Tages gesammelten Wärme kann durch Nachtbelüftung erfolgen. Die Effektivität dieser Maßnahme, muss aber noch durch weitere Untersuchungen getestet werden muss [Fsa02].

Aufgrund zusätzlicher Forschungsarbeiten des IETs am Testgebäude, konnten weitere Effekte beobachtet werden.

Die Nordwand wird im Winter von kalten Winden angeströmt und kühlt zudem durch die Verdunstung des Regenwassers auf der Oberfläche ab. Im Sommer beeinflusst diffuse und vom Boden reflektierte Solareinstrahlung die Temperatur der Außenfläche. Wärmedämmung und reduzierte Öffnungsfläche sind für die Nordwand zu empfehlen [Fsa08].

Im Vergleich dazu braucht die Südfassade wegen der winterlichen und sommerlichen Sonnenhöhe weniger Wärmedämmung. Im Winter ermöglicht der niedrige Sonnenstand hohe Wärmegewinne. Um diese Wärmegewinne erhöhen, sollte die Fensterfläche möglichst groß sein. In Gegensatz dazu ist die Sonneneinstrahlung während des Sommers mäßig. Beschattung von Wand, Fenster und Boden in der Nähe des Gebäudes kann die Wärmeentwicklung im Sommer begrenzen [Fsa08].

Ost- und Westwände haben eine sehr hohe Sonneneinstrahlung im Sommer und geringe Wärmeentwicklung im Winter. Allerdings ist die Beschattung dieser Bauteile schwer zu realisieren. Im Winter sind diese Wände von kalten Nordost- und Nordwestwinden betroffen. Aus diesem Grund muss eine ausreichende Wärmedämmung vorgenommen werden [Fsa08].

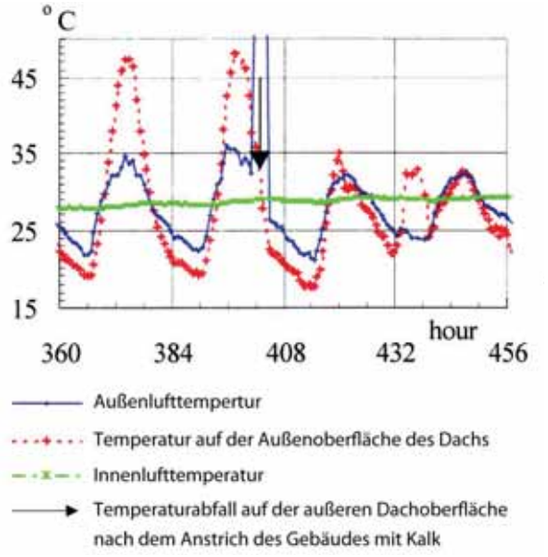


Abb.42: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 16-20/08/01 [Fsa02]

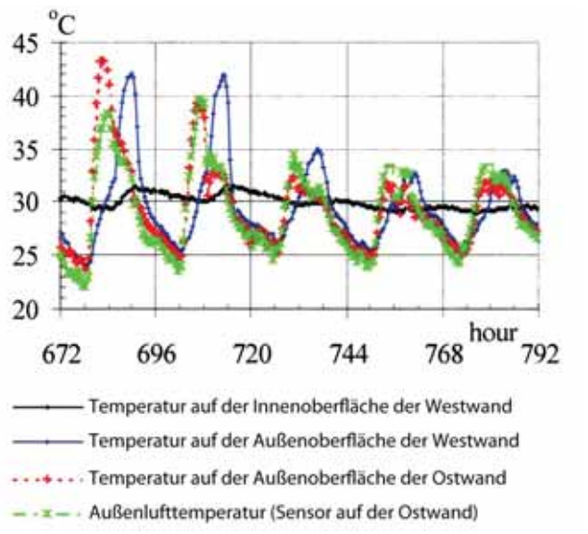
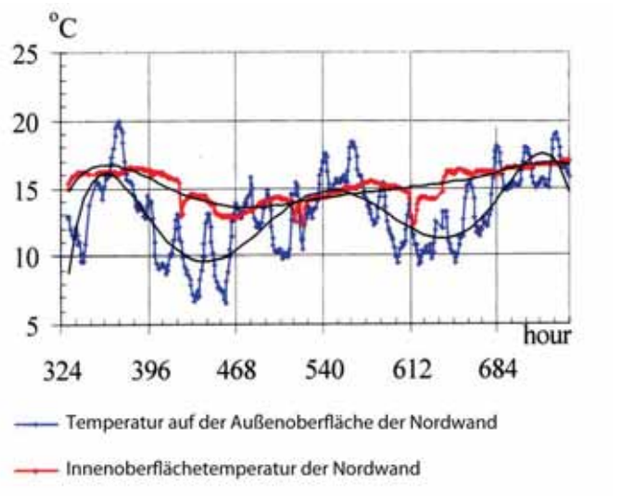


Abb. 43: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 29/08-03/09/01 [Fsa02]



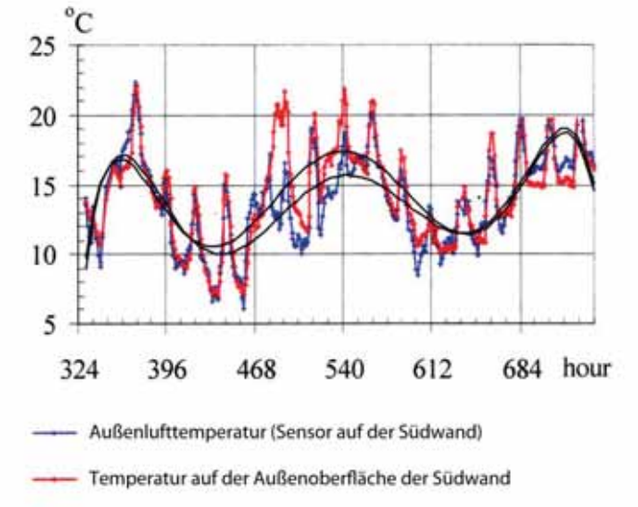
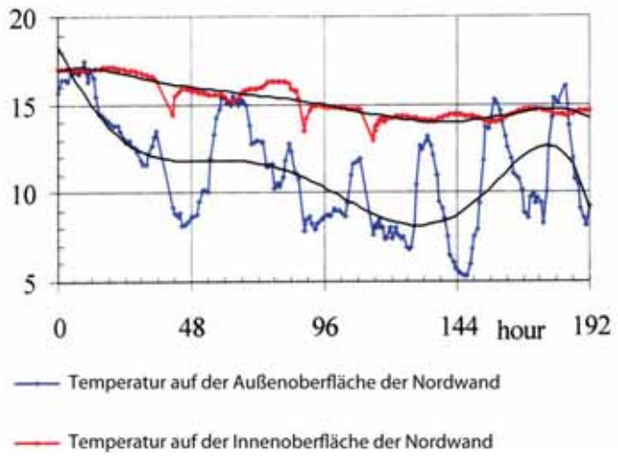


Abb. 44: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 14-31/12/01 [Fsa02]



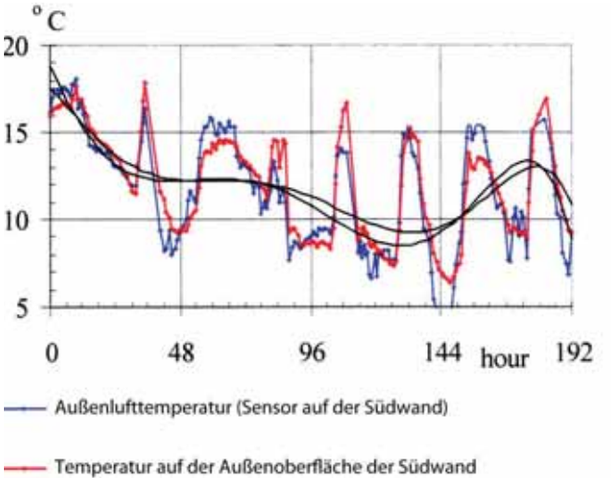


Abb. 45: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 01-08/01/02 [Fsa02]

3.3. Bewertung einiger passiver Strategien

Die Recherche stellt eine Vertiefung der Frage nach den geometrischen und technischen Aspekten des für die Experimente heran gezogenen Gebäudes dar. Um einfache passive Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen und winterlichen thermischen Verhaltens zu bewerten, wird ein rechnerisches Modell mit dem Programmpaket GEBA entwickelt. Der Temperaturverlauf zweier repräsentativer Tage im Winter und im Sommer wird simuliert, um die Auswirkung von baulichen und technischen Anwendung einzuschätzen: im Sommer dienen die Maßnahmen der Minimierung der Wärmeentwicklung (Außenjalousie, Beschattung) und Förderung der Wärmeabfuhr (Nachtbelüftung), im Winter sind bessere Wärmedämmung und Eigenschaften der Fenster (Glasfläche, Durchlassgrad) zu berücksichtigen.

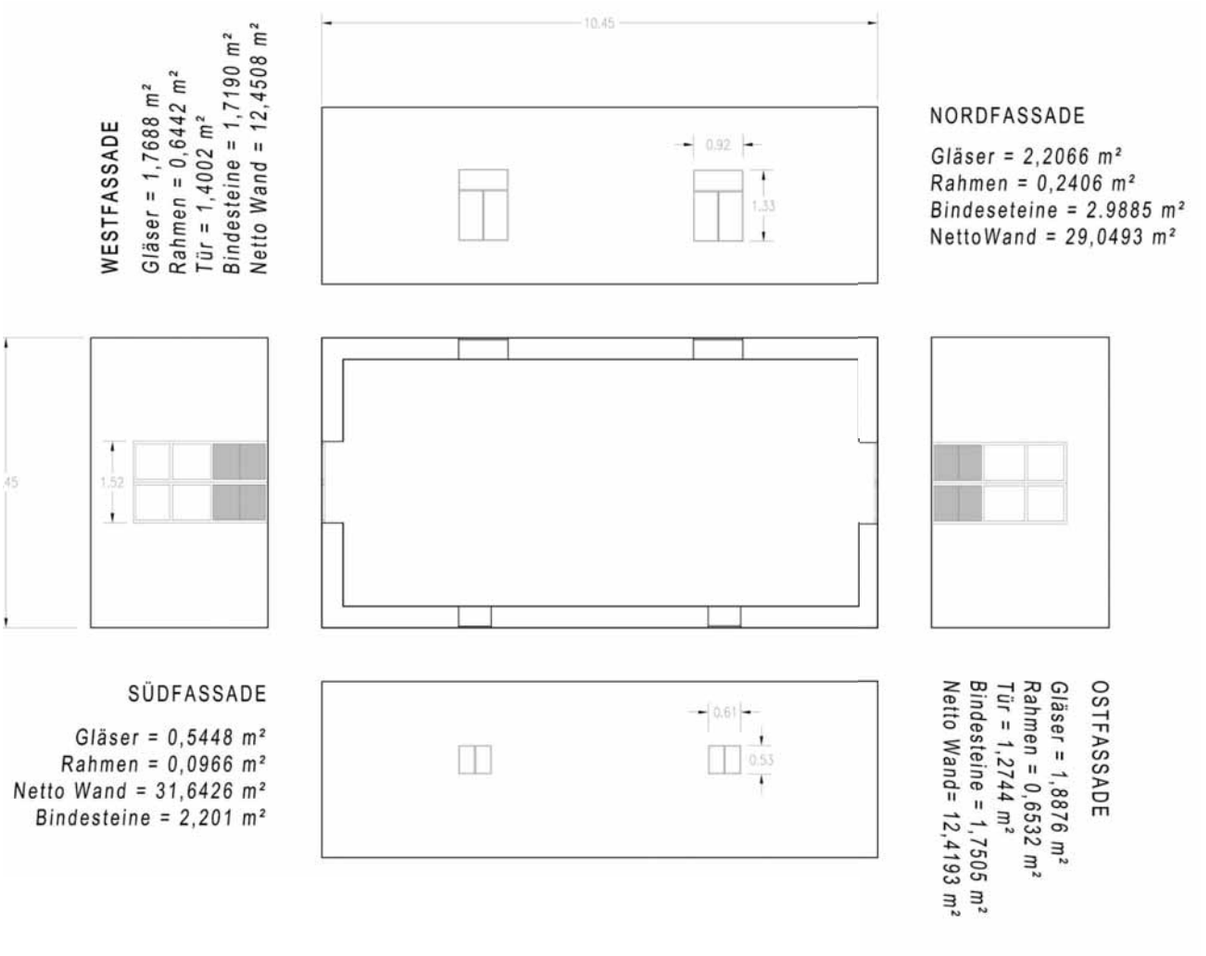


Abb. 46: Grundriss des simulierten Gebäude

3.3.1. Klimatische Bedingungen der zwei analysierten Tage

Zunächst ist die Auswahl der Referenztage zu beachten, da Abkühlung und Erwärmung eines Gebäudes langfristige Prozesse darstellen. Daher wird jeweils ein Sommer- und Wintertag in einem Zeitraum gewählt, in welchem die klimatischen Bedingungen ziemlich beständig sind: 9. Februar und 16. Juli. Die Lufttemperatur und die Sonneneinstrahlung auf die horizontale Fläche im Winter und im Sommer sind in Abbildung 47 und 48 dargestellt. Vom 15. bis zum 18. Juli beträgt der maximale Wert 37,5°C, der minimale 22,6°C. Im Winter schwanken die Außenlufttemperaturen vom 8. bis zum 11. Februar zwischen 5,4 und 13,4 °C.

Die großen Temperaturschwankungen im Winter und im Sommer sind durch die unterschiedliche Sonneneinstrahlung zu erklären. Die maximalen Werte der Globaleinstrahlung im Sommer erreichen nämlich 950 W/m² und im Winter 668 W/m² (Abb.49 und 50).

Am 9. Februar liegt der Maximalwert der Sonneneinstrahlung auf der Südwand, im Sommer auf der Dachfläche (Abb. 51). Es ist zu beachten, dass der 15. Juli 2003 ein sehr klarer Tag war, während am 9. Februar die Wetterbedingungen sehr wechselhaft waren.

Gleichermaßen schwankten die Windbedingungen an den beiden Tage erheblich. Im Sommer erschwert die nächtliche Windstille die natürliche Belüftung und im Winter erreicht die Windstärke während des ganzen Tages hohe Werte.

Gleichzeitig wird die Luftfeuchtigkeit von der Meeresnähe stark beeinflusst. Im Sommer kann dies besonders störend sein, da während einer Nacht mit SO-Wind ein Spitzenwert von 88% erreicht wird. Im Winter bleiben die Werte rund um 50%.

Die Beschattung der Umgebung auf der Gebäudehülle hat nur im Winter einen deutlichen Einfluss, wenn die Einfriedungsmauer im Süden die Strahlungsflüsse auf der Südfassade beschränkt.

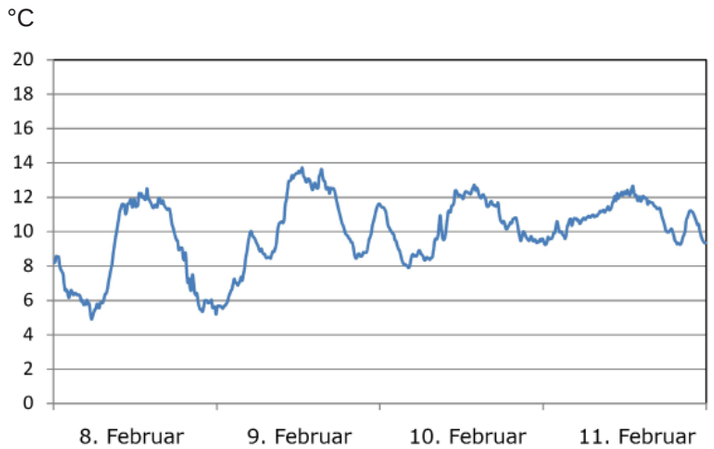


Abb. 47: Außenlufttemperatur, 8-11/02/03



Abb. 48: Außenufttemperatur, 15-18/07/03

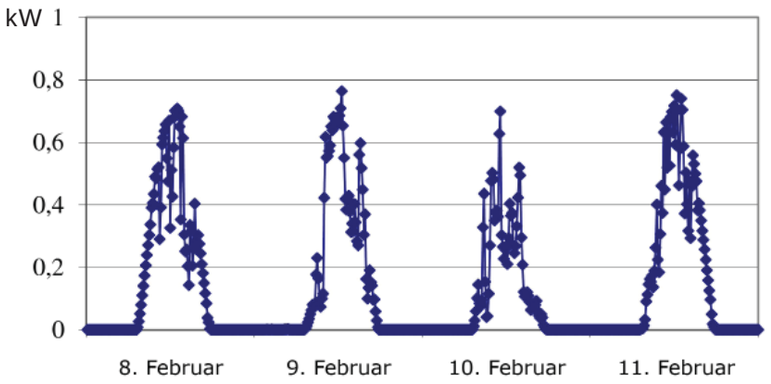


Abb. 49: Globale Sonneneinstrahlung, 8-11/02/03

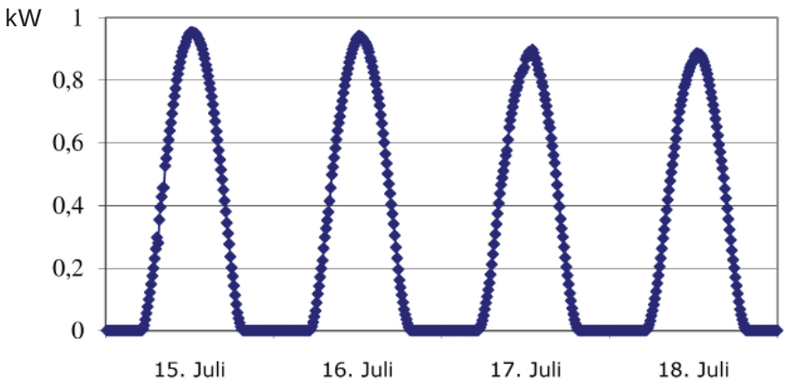
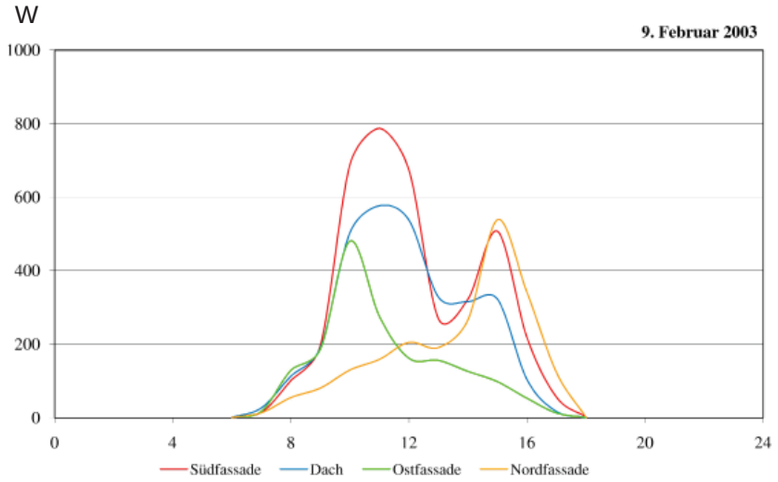


Abb. 50: Globale Sonneneinstrahlung, 15-18/07/03



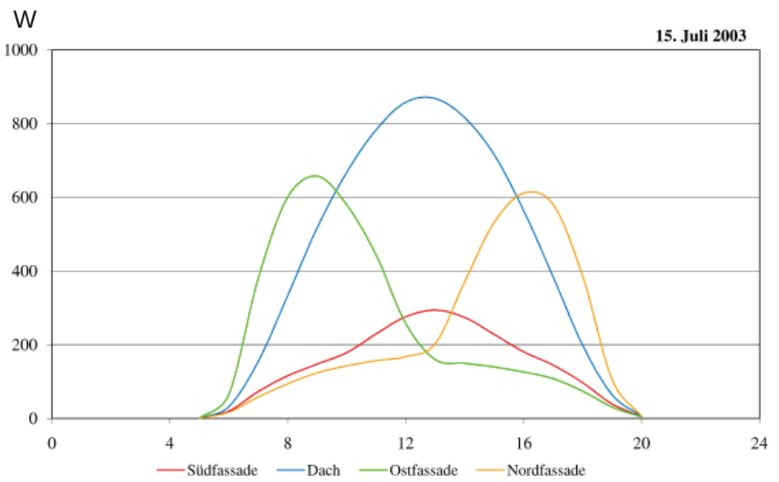


Abb. 51: Gemessene Werte der Sonneneinstrahlung auf den verschiedenen Gebäudeoberflächen

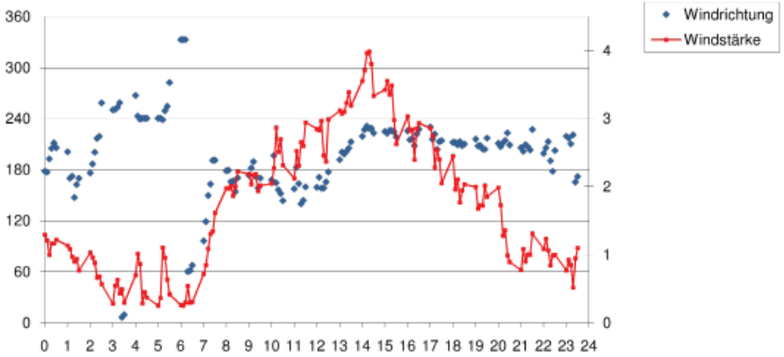


Abb. 52: Windrichtung und Windstärke am 9. Februar 2003

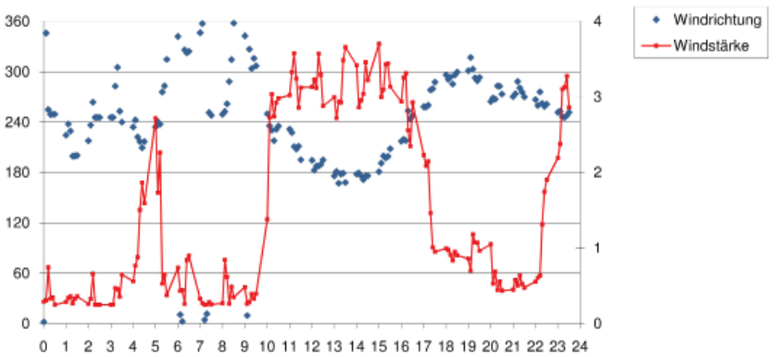


Abb. 53: Windrichtung und Windstärke am 16. Juli 2003

3.3.2 Materialeigenschaften und Bauteile

Die Beschreibung der Materialeigenschaften und Bauteile ist wesentlich, um eine korrekte Darstellung des Modells im Programm umzusetzen. Die Wände bestehen aus den zwei am meisten verwendeten Baumaterialien der Insel: das Außenteil wird mit dem traditionellen Sandstein gebaut, während die Innenschicht mit Hohlziegeln aus Beton konstruiert wird. Die Wärmeleitfähigkeit für die Materialien beträgt 1,0 W/mK für den Sandstein und 0,9 W/mK für den Betonziegel. Die zwei Wandschalen haben einen Abstand von 3 cm und werden von Sandsteinbindern zusammengehalten.

Das Dach ist eine wärmegedämmte Stahlbetonplatte mit einem U-Wert von 0,25 W/m^{2}K. Der Boden ist eine einfache Betonplatte von 20cm und liegt auf dem Erdreich.

Die Fenster bestehen aus einer 3 mm Einfachscheibe und einem Stahlrahmen. Um die Verminderung der Strahlungsbilanz der Gläser durch den Kalk zu beschreiben, werden die optischen Eigenschaften eines Grauglases verwendet. Auf der Innenseite der Nord-, Ost- und Westfenster wird eine transparente Doppelsteg-Kunststoffplatte mit einer Dicke von 6 mm angebracht.

Der Vergleich der aufgenommenen und simulierten

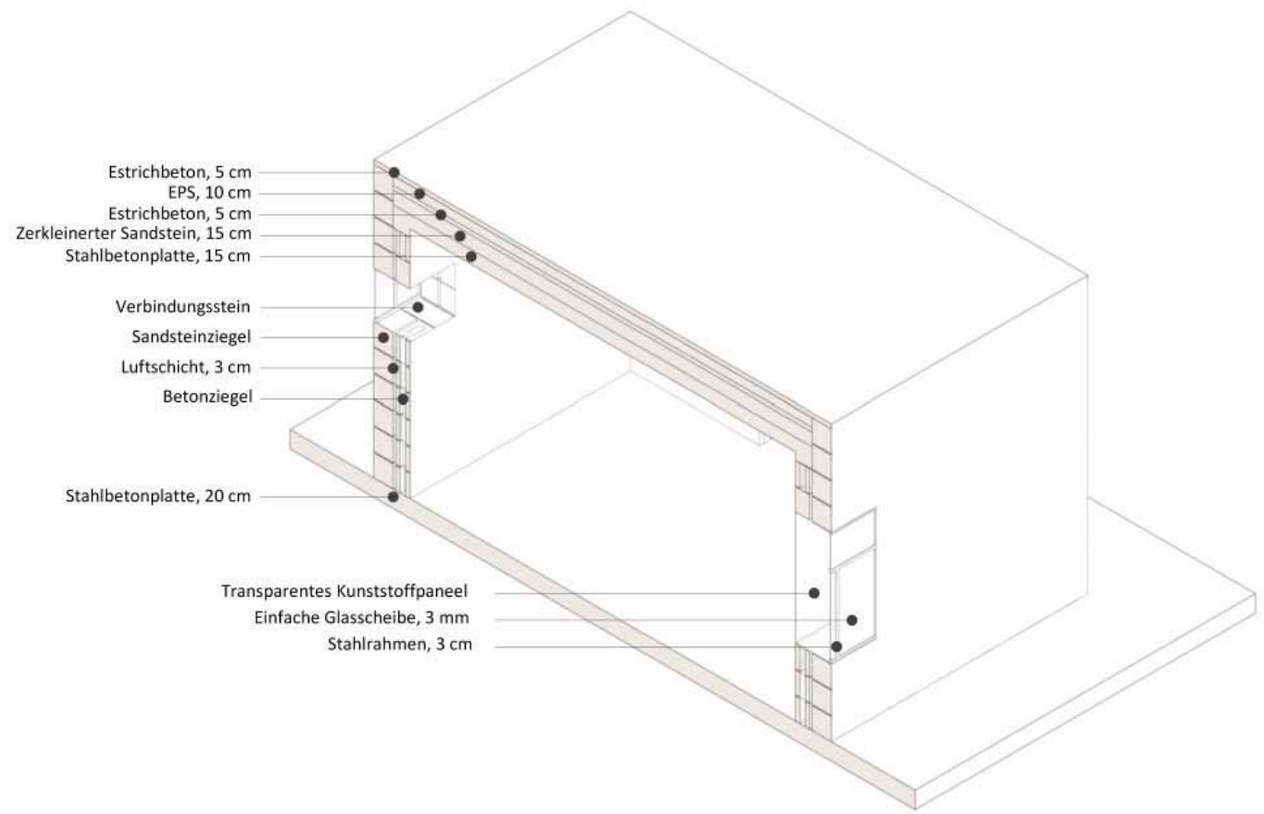


Abb 54: Konstruktive Querschnittzeichnung des analysierten Gebäudes

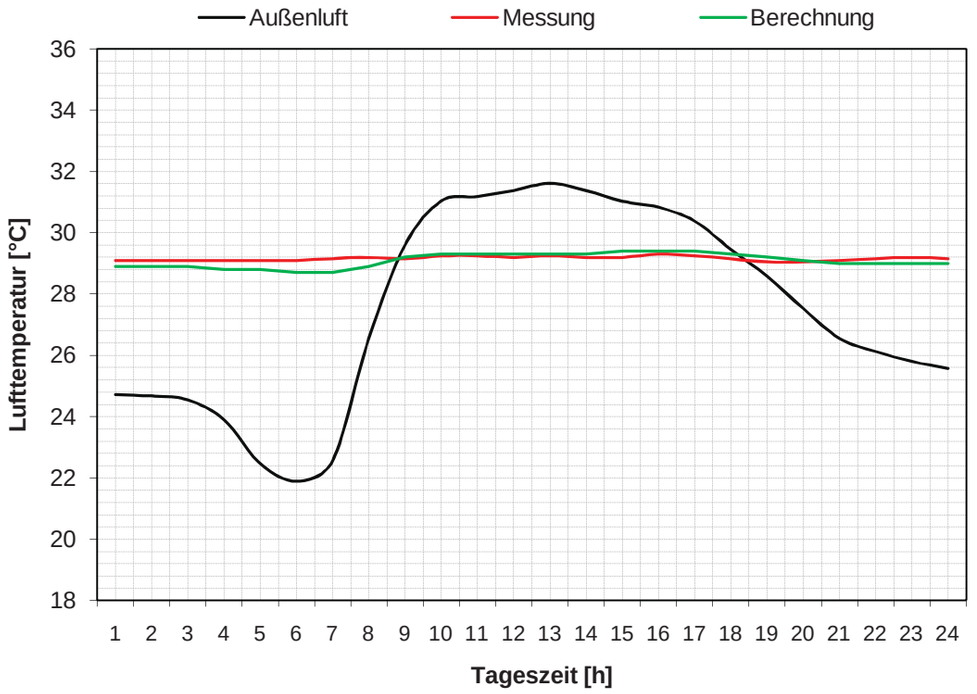


Abb. 55: Gemessener und berechneter Tagesverlauf der Raumlufttemperatur am 16. Juli

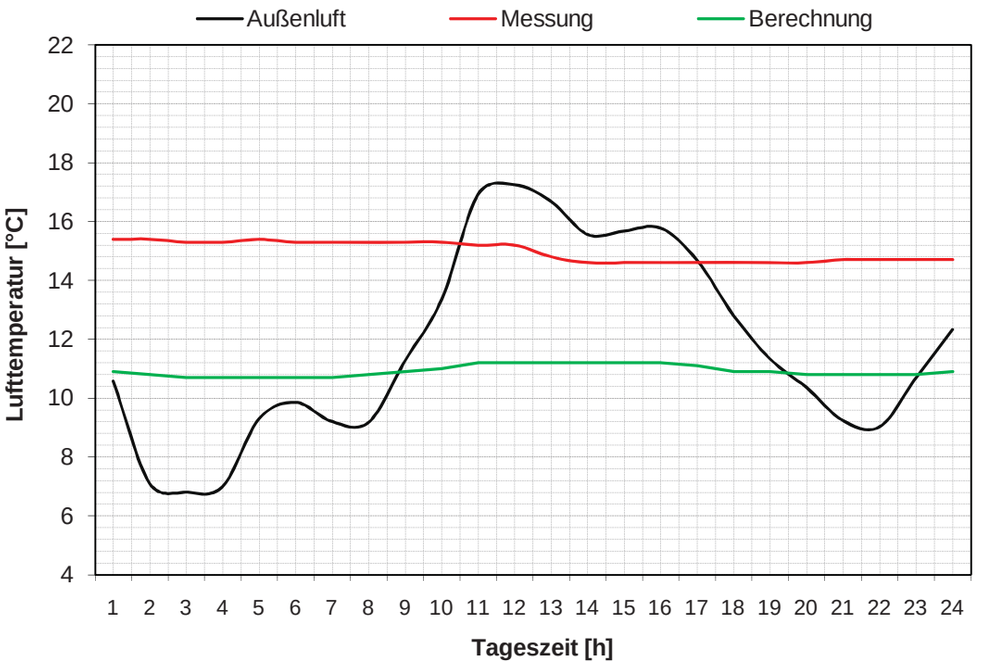


Abb. 56: Gemessener und berechneter Tagesverlauf der Raumlufttemperatur am 9. Februar

Daten zeigt im Sommer eine gute Übereinstimmung des Temperaturverlaufs. Die maximale Schwankung von 0,4 °C folgt der plötzlichen Abnahme der Temperatur zwischen 5 und 6 Uhr.

Andererseits liegt die Differenz zwischen Messung und Simulation im Februar über 4°C. Die Differenz resultiert aus Ungenauigkeiten der Simulationparameter. Der Strahlungs- und Temperaturverlauf eines Tages mit unbeständigen Wind- und Bewölkungsbedingungen, die Strahlungsdurchlässigkeit der Fenster, die Reflektion der Gebäudehülle nach dem Anstrich mit Kalk und die Größe der Innenwärme lassen sich nur mangelhaft modellieren.

3.3.3 Parameterstudie

Die untersuchten Parameter zur Verbesserung des Raumklimas werden in Maßnahmen für den Sommer und den Winter unterteilt. Ihr Einfluss wird aber gleichzeitig für beide Fälle evaluiert.

Die folgende Tabelle listet die verschiedenen Maßnahmen auf:

Sommerfall	
Außenjalousie	Außenjalousien werden im Sommer ganztags von 7 bis 20 Uhr verwendet, um die Sonneneinstrahlung auf die Fensterfläche zu mindern. Im Winter wirken sie während der Nacht (19-7 Uhr) dem konvektiven Wärmeverlust entgegen. Zur Charakterisierung der Jalousien wird der z-Wert mit 0,27 angesetzt (S1).
Verschattungseinrichtungen	Fixe horizontale Verschattungseinrichtungen werden vorgesehen, um die Sonneneinstrahlung im Sommer ausreichend zu reduzieren und im Winter die tief stehende Wintersonne in das Gebäude eindringen zu lassen. Die Dimension der Elemente beträgt 3 x 5,45 m auf der Ostfassade (S2), 3 x 5,45 auf der Westfassade (S3) und 1 x 16,45 m nach Süden (S4).
Nachtbelüftung	Die nächtliche Lüftung wird mit 3-fachem Luftwechsel pro Stunde von 20 bis 7 Uhr angesetzt, um die Wärmeabfuhr der während des Tages gesammelten Wärme zu ermöglichen. Da die Windbedingungen keine natürliche Belüftung ermöglichen, ist die Nutzung von Ventilatoren vorgesehen (S5).
Winterfall	
Wärmedämmung und neue Fenster	Mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK ersetzt 3 cm extrudiertes Polystyrol die Luftschicht der Wand. Neue Fenster mit Doppelschicht-Isoliergläsern (6-12-6 mm) und Holzrahmen werden vorgesehen (W1).
Glasfläche	Die Fensteröffnung der Nord- und Südfassade wird vertauscht. Damit beträgt die Öffnungsfläche nach Süden 2,24 m^2 und nach Norden 0,54 m^2 (W3).

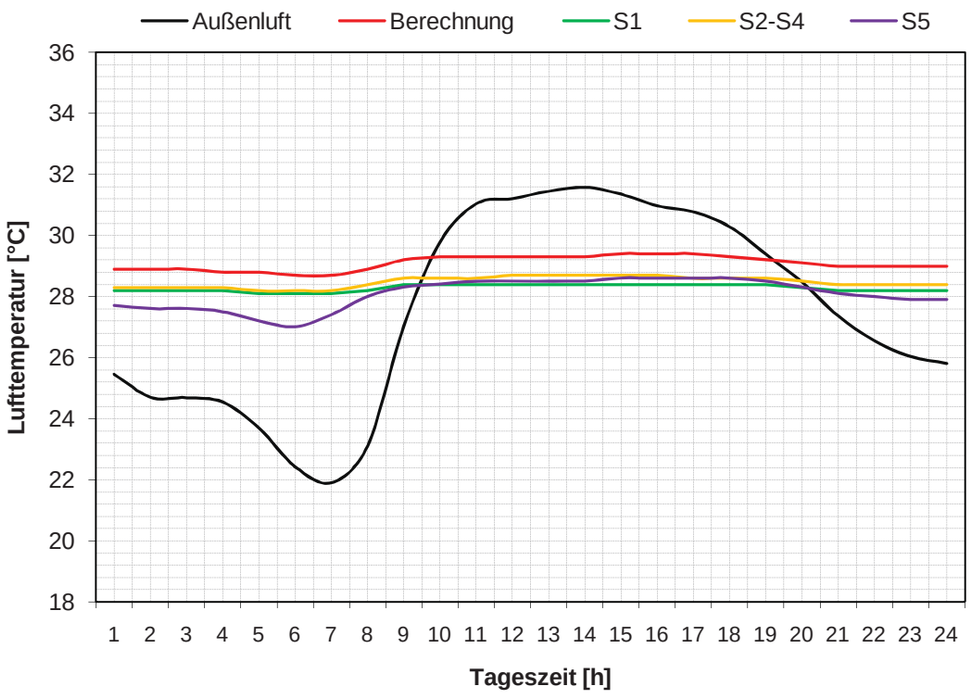


Abb. 57: Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für die verschiedenen Berechnungsfälle am 16.Juli

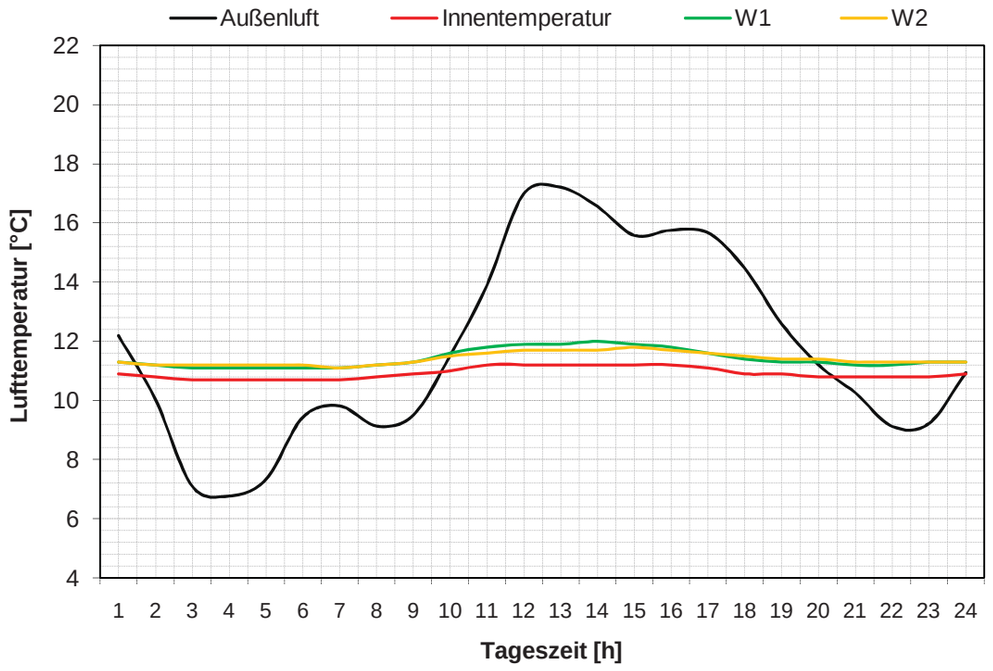


Abb. 58: Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für die verschiedenen Berechnungsfälle am 9. Februar

Die Nutzung der Außenjalousie (S1) an Fenstern und Türen bewirkt eine Reduzierung der mittleren Innentemperatur von 0,8°. Die Verschattung der verschiedenen Fassaden führt zu einer Erniedrigung der Lufttemperatur um 0,6°. Es ist zu bemerken, dass ein horizontales Element keine ideale Verschattungeinrichtung (S2-S4) für die Ost- und Westoberfläche darstellt. Diese Elemente werden aber als fixe Dispositive gedacht, um einen übermäßigen Einfluss während des Winters zu vermeiden. Weitere positive Effekte können durch bewegliche waagerechte Elemente für die zwei lateralen Fassaden erreicht werden.

Die Nachtbelüftung bewirkt eine Minderung der mittleren Temperatur von 29,1 °C auf 28,1 °C. Während der Nacht erreicht die Innentemperatur ein Minimum von 27 °C.

Im Winter bewirkt die Vergrößerung der nach Süden orientierte Fensterfläche (W1) eine Erhöhung der mittleren Temperatur um 0,5°C und der maximalen um 0,8°C.

Die Nutzung gedämmter Gläser und Wände (W2) führt zu einer Erhöhung der Innentemperatur um 0,6°C. Im Sommer jedoch zu einer mittleren Erhöhung um 0,9°C.

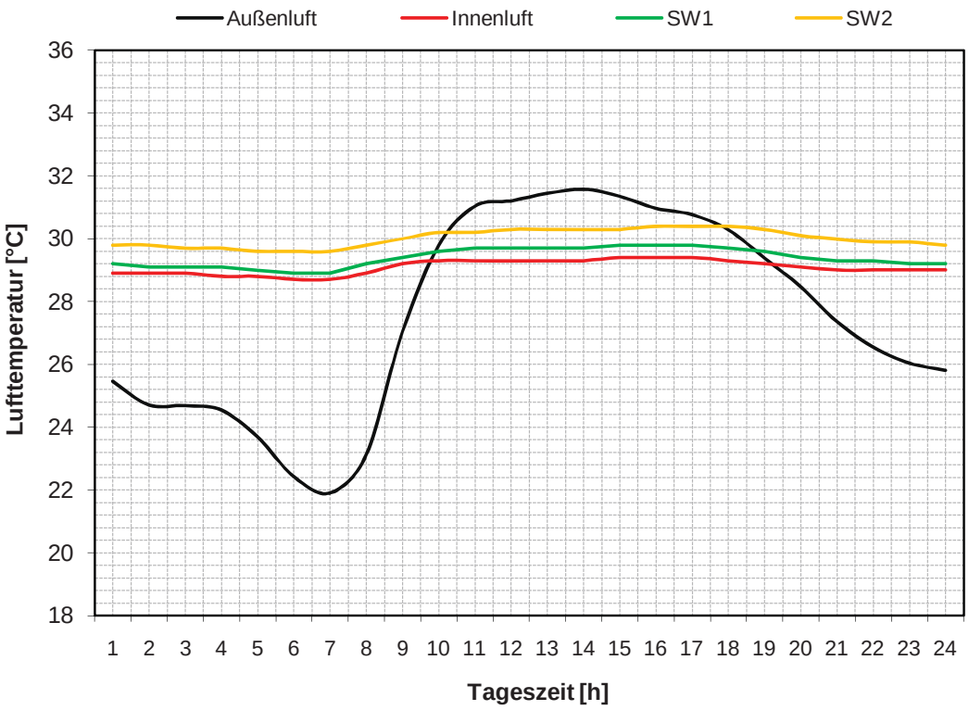


Abb. 59: Effekte der winterlichen Maßnahmen W1, W2, W3 auf den sommerlichen Temperaturverlauf

3.3.4 Schlussfolgerungen

Die Beschattung der Fensterfläche und Außenwände verhindert die starke Sonneneinstrahlung auf die Fassaden und reduziert die Erwärmung im Innenraum. Die Ost- und Westwände sollten mit beweglichen waagerechten Elementen beschattet werden.

Da die Temperaturen in der Nacht während der Hitzeperiode allerdings nicht in ausreicheder Maße fallen, kann selbst ein Nachtbelüftungssystem keine Nachhaltige Absenkung der Raumtemperatur bewirken. Die Tageshöchstwerte im Innenraum bleiben unverändert hoch. Wechselnde Windverhältnisse wärend der Sommermonate verhindern darüber hinaus eine natürliche Belüftung.

Nach Süden orientierte Glasflächen ermöglichen eine positive Nutzung der Speicherfähigkeit der inneren Bauteile und verursachen keinen bedeutenden Nachteil für sommerliche Temperaturverhalten.

Gedämmte Gläser und Wände fördern eine Reduzierung des Wärmeverlusts im Winter. Sie bewirken aber keinen negativen Effekt auf das sommerliche Raumverhalten. Die thermische Qualität der Gebäudehülle muss in der Planung eines Entwurfes gleichzeitig sowohl auf die sommerlichen als auch für die winterlichen Verhältnisse abgestimmt werden.


Marsaxlokk
In-Nigret
Institute of Energy Technology
Birzebbuga
N

Entwurf

4. Birzebbuga und die Marsaxlokk Bay

Der Entwurf, dessen Ziel eine Siedlung von 60 Wohnungen ist, versucht die analysierten Maßnahmen für die Verbesserung der thermischen Bauqualität mit den Themen des Wohnens zu vereinen.

Das Entwurfsgebiet befindet sich in In-Nigret, einem Ortsteil der kleinen Stadt Birzebbuga. Diese Hafenstadt mit circa 9000 Einwohnern liegt an der Bucht von Marsaxlokk im Süden Maltas. Der Name der Stadt leitet sich aus dem maltesischen „Bir Żebbuġa“ (dt.: Żebbuġa-Brunnen) ab. Żebbuġa ist vermutlich ein arabischer Familienname, der sich aus dem arabisch-maltesischen Wort „Żebbuġ“ (dt.: wilde Olive) ableitet und aus Maltas islamischer Periode stammt.

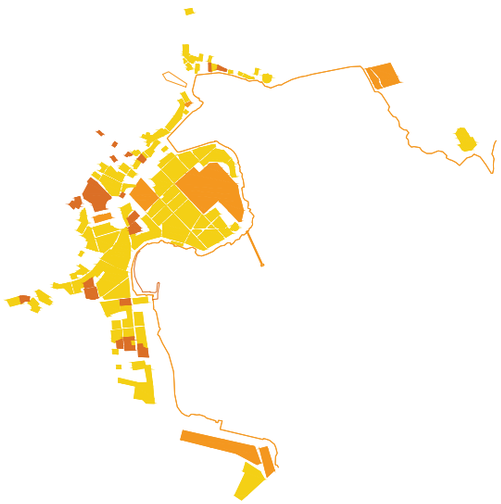
Wie in allen anderen Städten Maltas entwickelt sich Birzebbuga rund um eine große Pfarrkirche. Die Kirche ist stets das historische, religiöse und urbane Erkennungszeichen der maltesischen Ortschaften und gleichzeitig eine visuelle „Landmark“ der maltesischen Landschaft. Die starke katholische Tradition der Insel charakterisiert viele kulturelle und religiöse Ereignisse jeder Gemeinschaft. Rund um diese Kirche werden oft Feiern und Prozessionen organisiert. Bekanntes Beispiel ist das Fest des Patrons, eine religiöse Volksfeier die während des Sommers in jeder Pfarrgemeinschaft stattfindet.

Das massive Gebäude der Kirche in Birzebbuga liegt auf einem Hügel in der Mitte der Stadt und kennzeichnet sich durch niedrige und kompakte Häuserblöcke. Wenn man durch die Straßen von Birzebbuga wandert, sieht man wie verschiedene riesige Strukturen und Gebäude die Hafenlandschaft stark markieren. Schon in den 20er Jahren gab es dort ein großes Öl-Lager mit einer Kaianlage sowie einem Gas-Lager (das später n einen anderen Ort verlagrt worden ist). In den 90er Jahren wurde im Süden der Stadt der „Malta Europort“ (Containerhafen) errichtet, über den ein Großteil der Im- und Exporte abgewickelt werden. In der Bucht gegenüber der Stadt befindet sich Gewerbe für die Fischzucht.

Birzebbuga ist aber nicht nur eine industrielle Stadt. Der Ort ist sehr bekannt für die Fossilienfunde aus



1957



1967

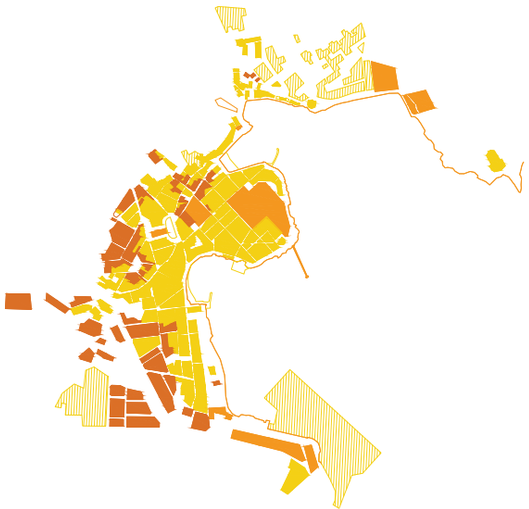


1978

der Eiszeit, die sich in der nahegelegenen Höhle Ghar Dalam befinden . Die Höhle entstand vermutlich in prähistorischer Zeit durch einen rechtwinklig verlaufenden Fluss und wurde im Jahre 1885 zum ersten Mal wissenschaftlich untersucht. Die Höhle hat große Bedeutung für die Archäologie. In ihren unteren Schichten, welche ein Alter von mehr als 500.000 Jahren aufweisen, fanden Forscher Knochen von Zwergelefanten und des Hippopotamus melitensis. Beide Arten starben auf Malta vor etwa 180.000 Jahren aus. Zudem wurden Fossilien von Bären, Wölfen, Riesenschwänen und Rothirschen geborgen, welche vor rund 18.000 Jahren ausstarben. Im Zweiten Weltkrieg, während der zweiten, großen Belagerung Maltas, diente sie der Bevölkerung als Zufluchtsort vor Bombardements.
Mein Projekt befindet sich in einem Gebiet, das ursprünglich nicht Teil des Stadtentwicklungsplans von Birzebbuga war, da angenommen wurde, dass sich die Höhle von Ghar Dahlam unterirdisch in diesem Flecken Erde befinden würde. Untersuchungen sowie Arbeiten an der Stabilisierung der Höhle ergaben, dass sich die Höhle in Wirklichkeit oberhalb des von mir bearbeiteten Gebietes befindet. In der Folge wurde das Gebiet in den Stadtentwicklungsplan aufgenommen und damit die planerische Grundlage für die Errichtung von 60 Wohnungen geschaffen.



1- Ölkraftwerk; 2- Pfarrkirche; 3- Volksschule; 4- Gas-Lager der “Enemalta”; 5- Malta Freihafen



1988



1998



2008

4.1. Eine Wanderung durch Birzebbuga



1- Gas-Lager der “Enemalta”
2- Straße in Qajenza
3- Grenze des Wohngebietes
4- Ansicht des Freihafens von einer Straße in Quajenza
5,6 - Ansichten von Straßen in “In-Nigret”
7- Traditionelle Reihenhäuser in Qajenza
8- Privatkappelle in Qajenza
9- Strandpromenade in Qajenza
10- Bootshaus
11- Strandpromenade in Qajenza
12- Traditionelle Farmhäuser
14- Traditionelle Reihenhäuser in Birzebbuga
15- Volkschule
16- Pfarrkirche
17- Meerpromenade der “Pretty Bay” in Birzebbuga
18- Malta Freihafen
19- Neue Siedlungen
20- Öl-Lager


1


2


3


4


5


6


7


8


9


10


11


12


13


14


15


16


17


18


19


20

4.2. Das Entwurfsgebiet, "Il-Friefet"

Die Höhle Ghar Dalam hat eine maximale Breite von 18 Metern, ist bis zu 6 Meter hoch, führt etwa 200 Meter weit in die Sandsteinfelsen hinein und liegt in der Nähe von In-Nigret. Aus diesem Grund war die ganze Fläche rund um mein Entwurfgebiet „Ghar Il-Friefet" (Birzebbuga Hof) vom lokalen Entwicklungsplan der Stadt ausgeschlossen. Neue Untersuchungen über die Lokalisierung der archäologischen Höhle zeigen, daß sie nicht unter diesem Ort liegt, wodurch das Gebiet in den Plan integriert wurde.

Der Ort liegt in einer Hügellandschaft und senkt sich nach Süden ins Meer ab. Durch die Straßen kann man einerseits einen Blick auf die Bucht, anderseits auf das freie Land werfen. Die großen viergeschossigen Gebäude in Zeilenbebauung und die Bungalows rund um den Gartenhof wurden in den 70er Jahren gebaut. In den 80er und 90er Jahren wurde dann die Umgebung mit kompakter Reihenhausentwicklung entwickelt.

Die Planung sieht 60 Wohnungen auf einer Fläche von 10.761 m^2 vor. Die Gebäude besitzen zwei oder drei Geschosse, mit der Möglichkeit eines zusätzlichen Dachgeschosses und einem Keller. Die Siedlung darf keinen Zugang von der Hauptstraße nach Birzebbuga haben. Ein großer Garten, der sich im Entwicklungsgebiet befindet, muss erhalten und geschützt werden.





Abb. 60: Plan des Entwurfsgebietes



Abb. 61: Höhle Għar Dalam



1967

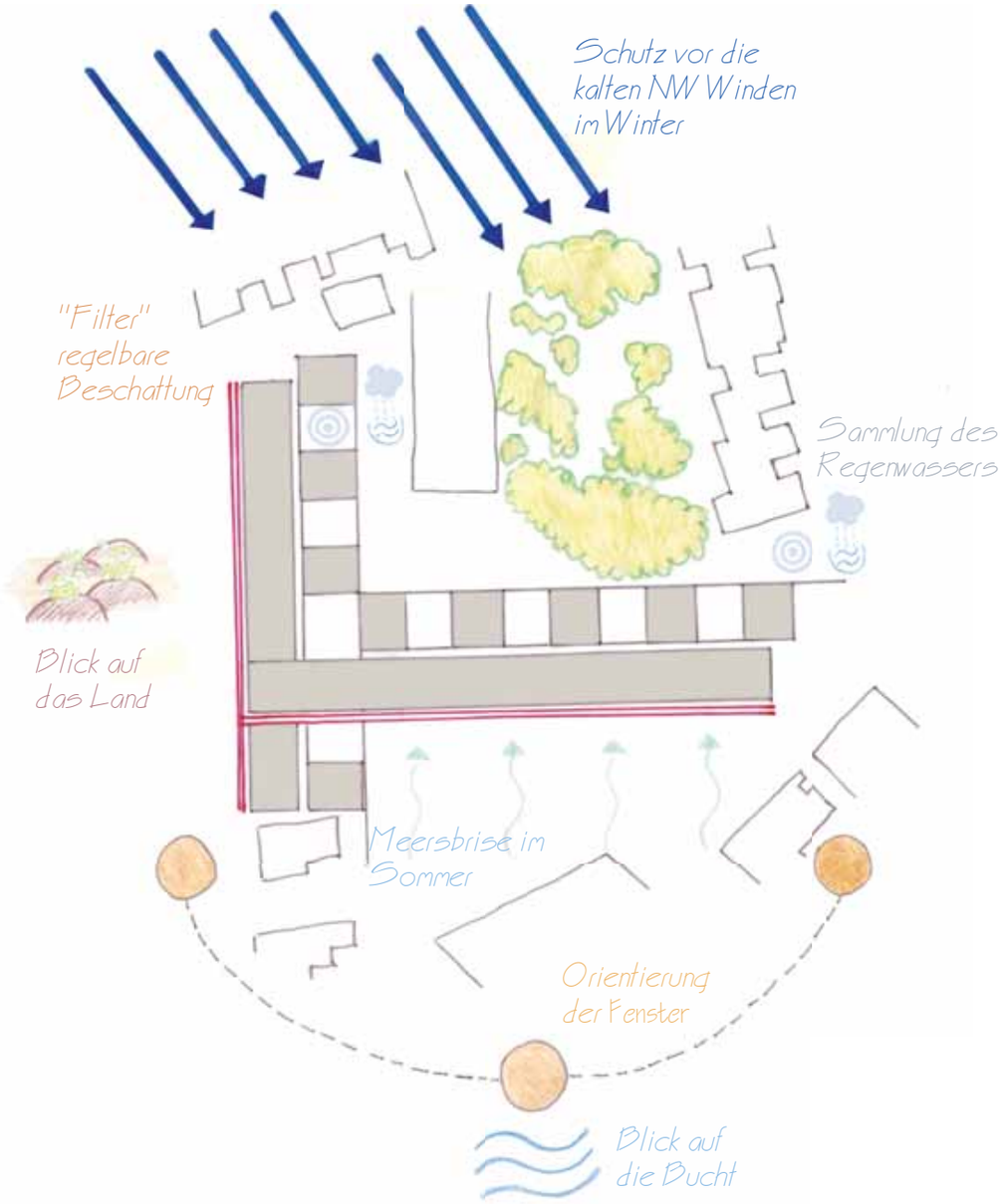


1978

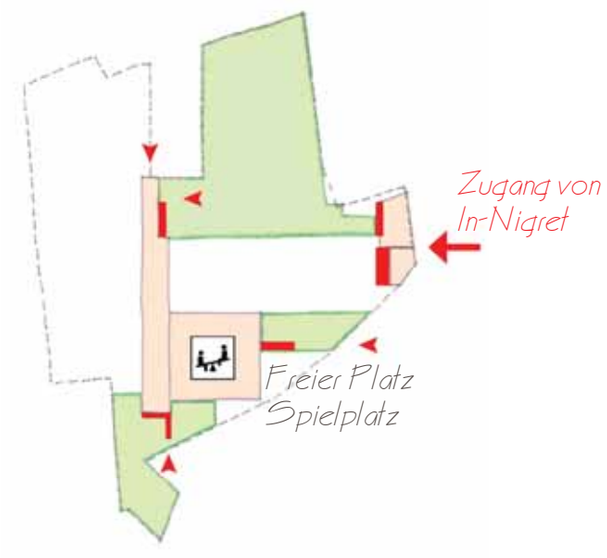


1988

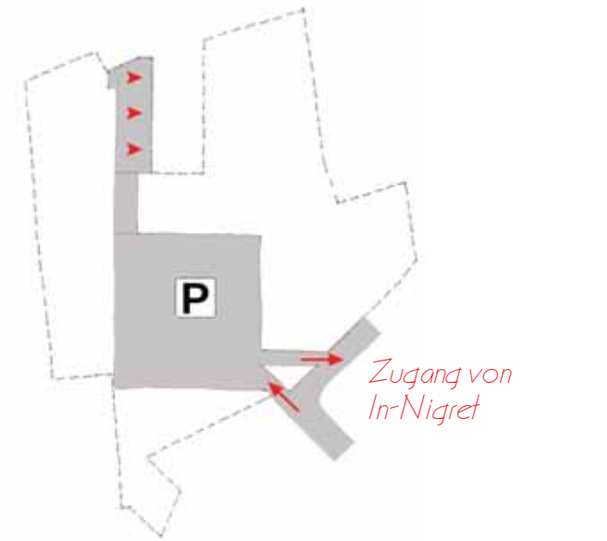
4.3. Konzept



Verbindung des offenen Raums

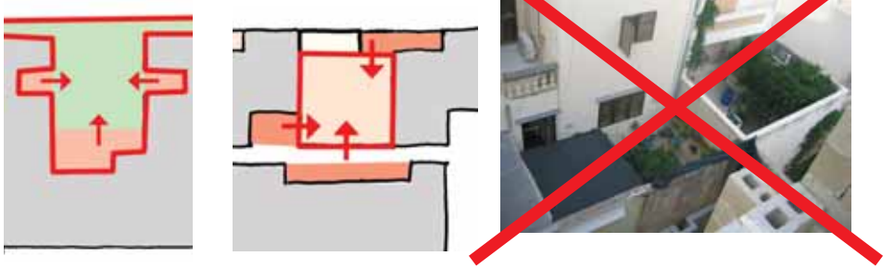


Parkplatz



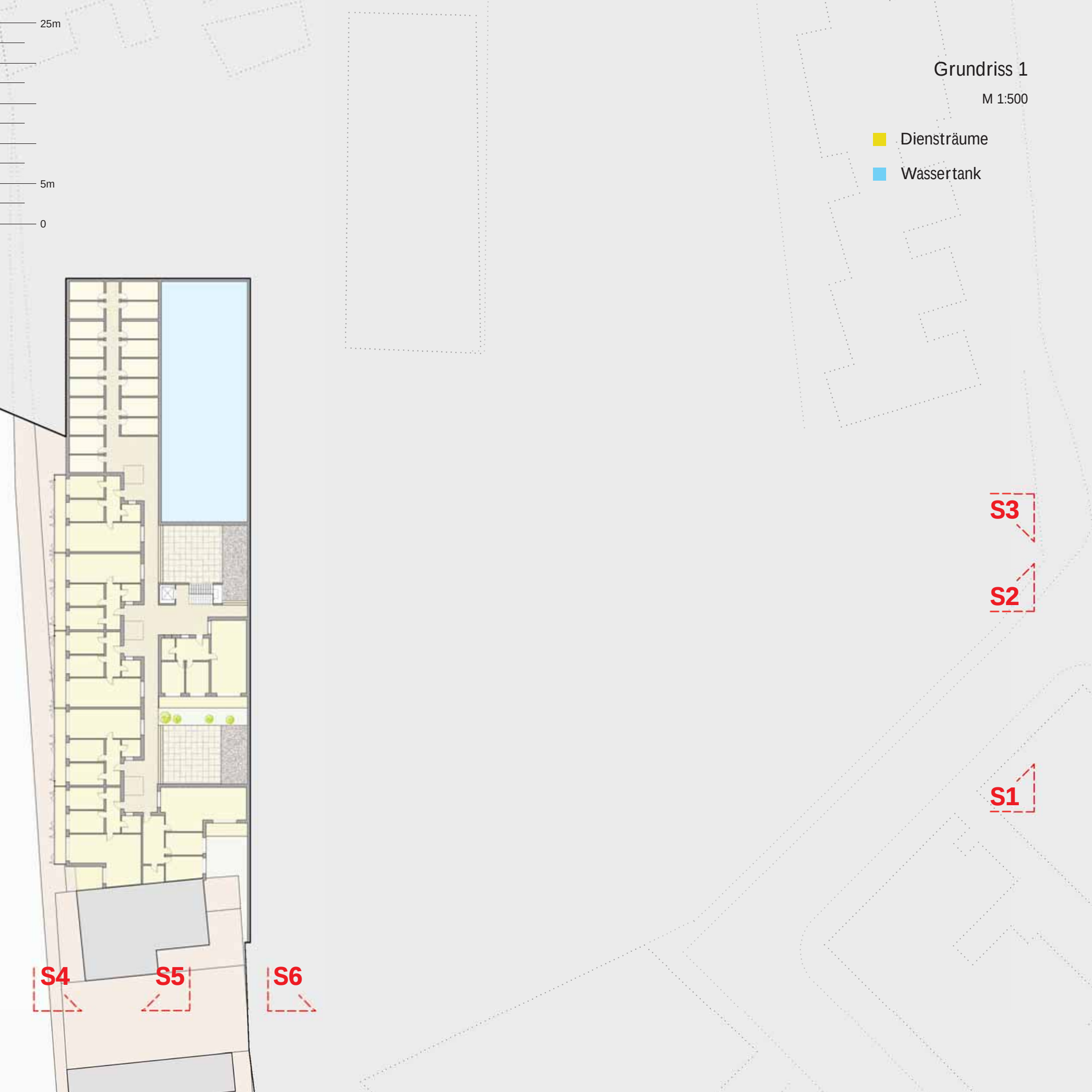


Ein Hof als Pufferraum



4.4. Pläne


50m
10m
0
23,75m
18,75m
20m
18,75m
18,75m
18,6m
16,25m
13,75m
11,25m
6,25

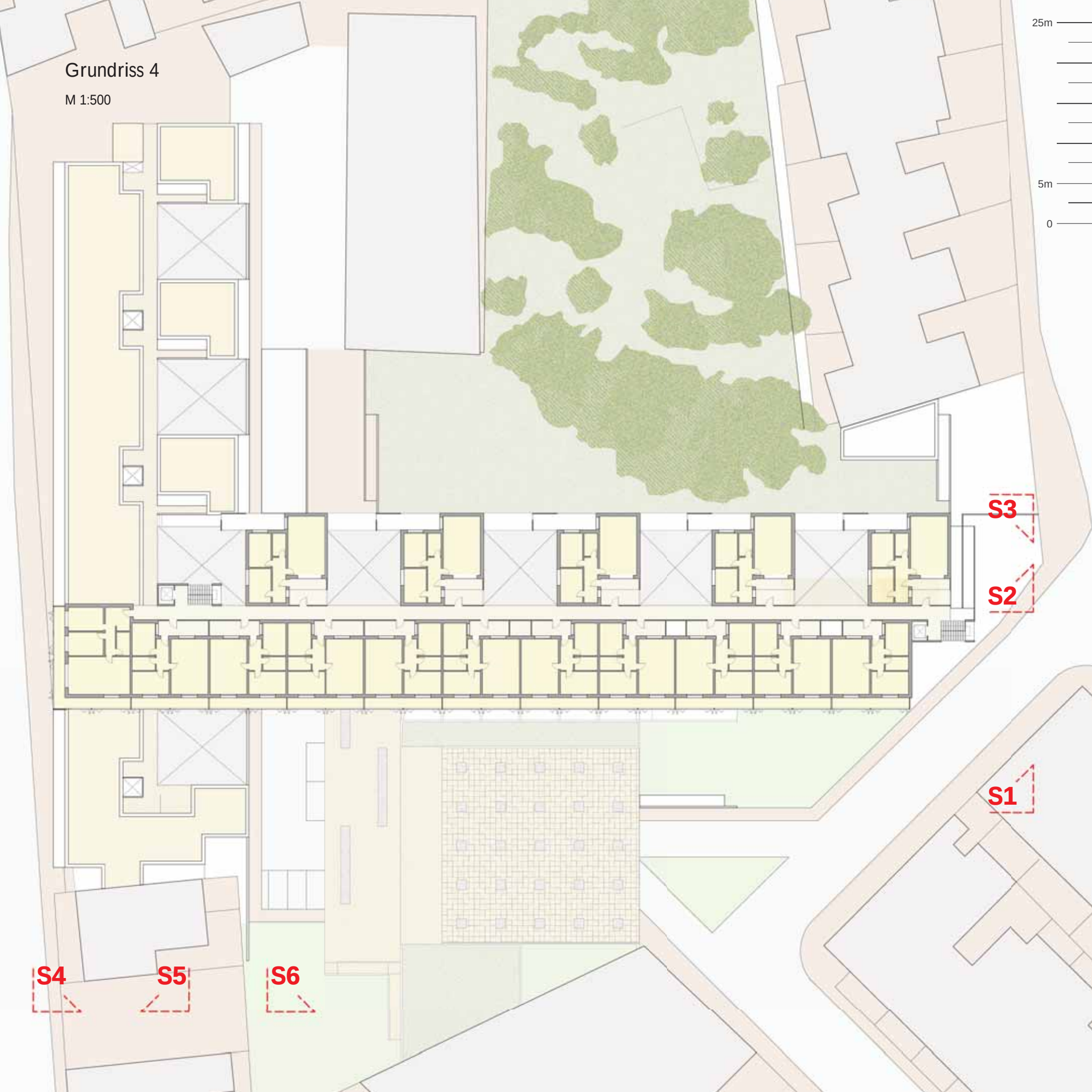

25m
5m
0
Grundriss 1
M 1:500
Diensträume
Wassertank
S3
S2
S1
S4
S5
S6

Grundriss 2

M 1:500




25m
0
Grundriss 3
M 1:500
S1
S2
S3
S4
S5
S6


Grundriss 4
M 1:500
25m
5m
0
S1
S2
S3
S4
S5
S6

Schnitt S1

M 1:500



0 5m 25m



Schnitt S2

M 1:500

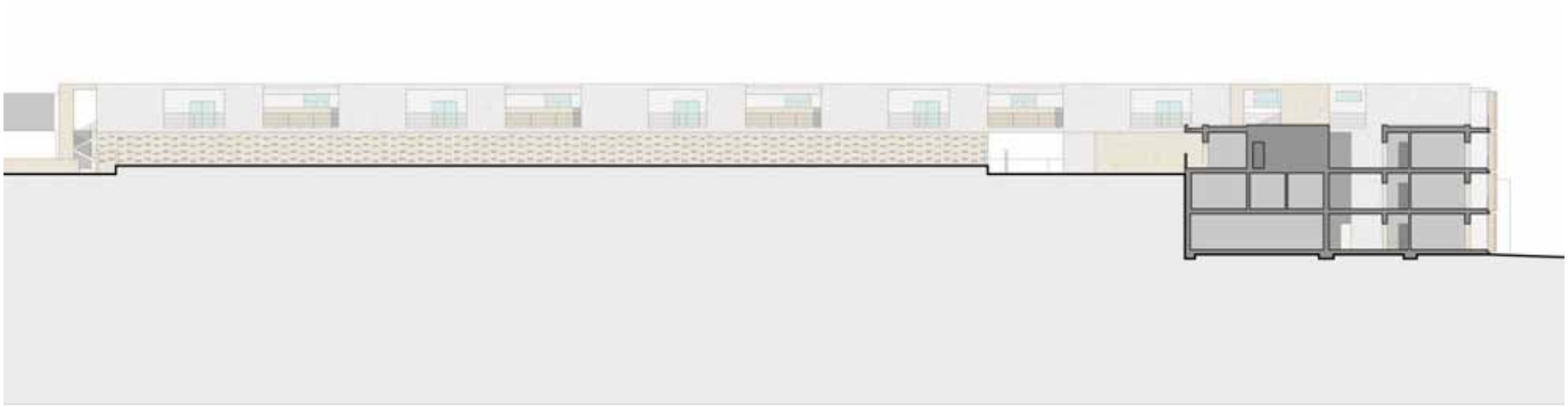


0 5m 25m



Schnitt S3

M 1:500



0 5m 25m



Schnitt S4

M 1:500

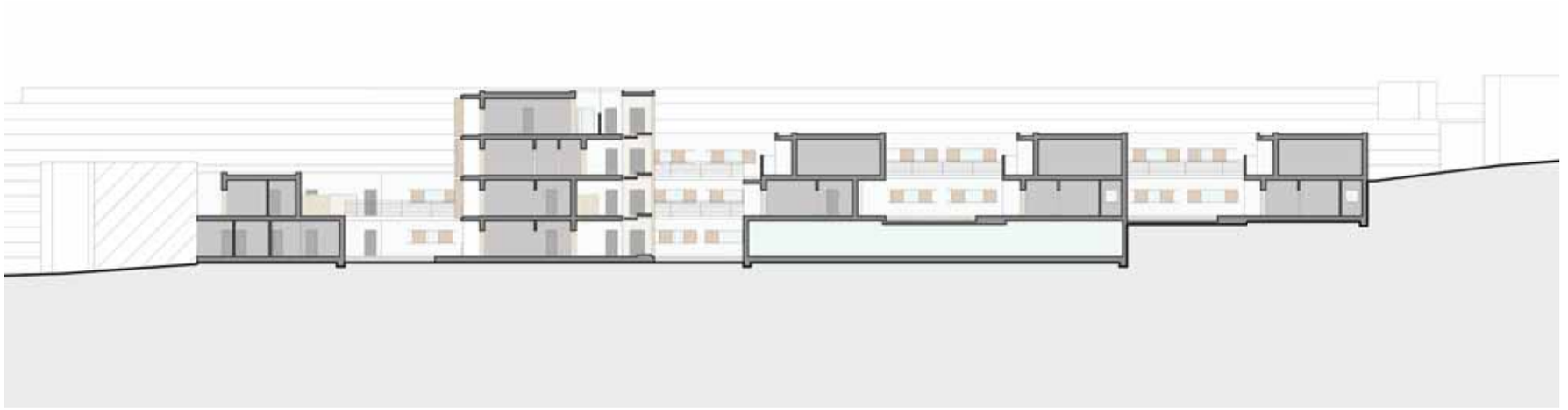


0 5m 25m



Schnitt S5

M 1:500



0 5m 25m



Schnitt S6

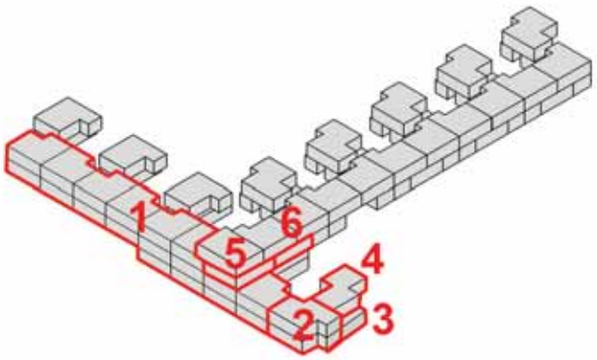
M 1:500



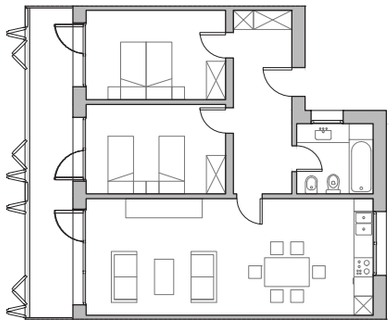
0 5m 25m



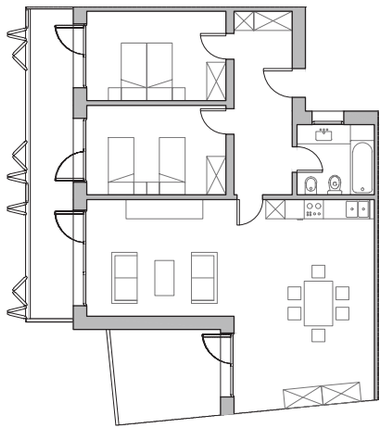
4.4. Wohntypologien



Wohntyp 1



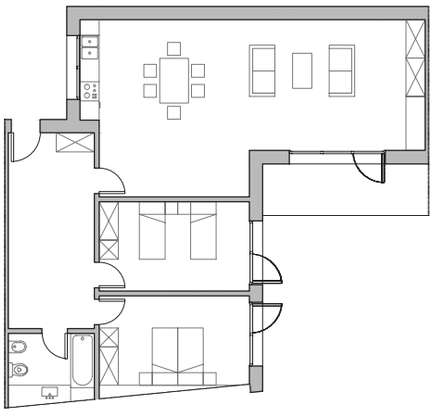
Wohntyp 2



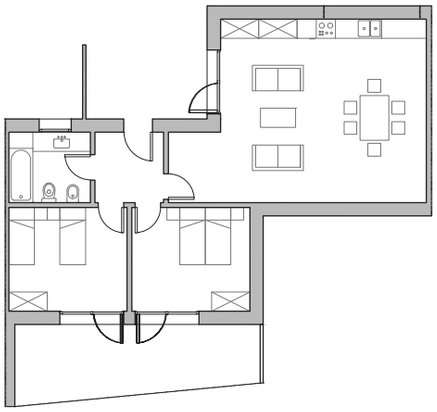
0 2m 10m



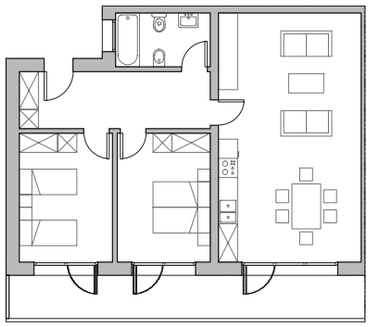
Wohntyp 3



Wohntyp 4



Wohntyp 5

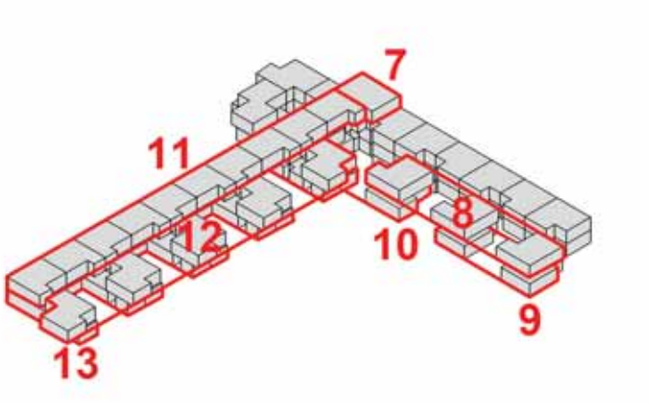


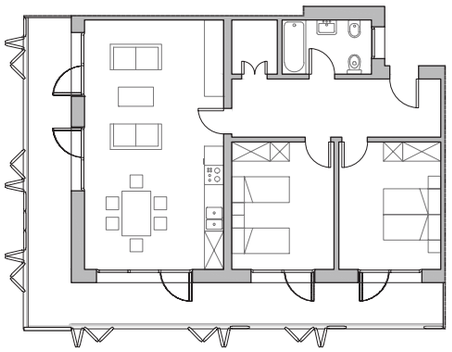


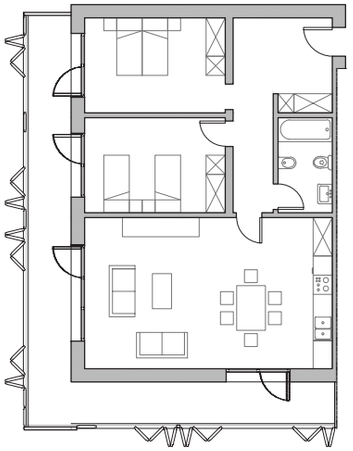


Wohntyp 6

Wohntyp 7



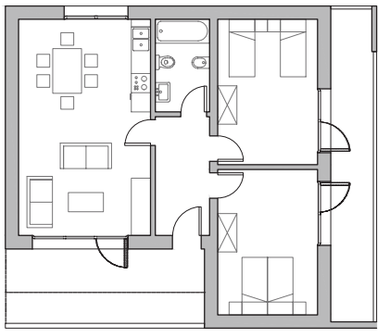




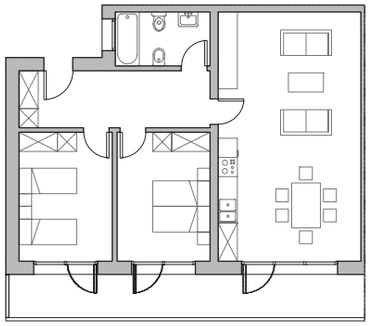
0 2m 10m



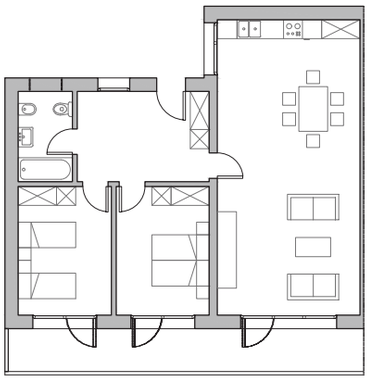
Wohntyp 8



Wohntyp 9



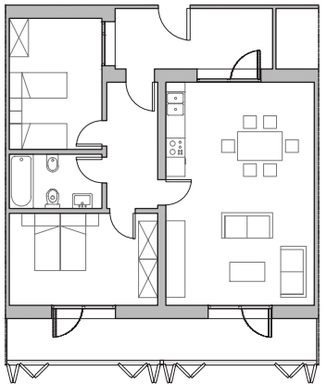
Wohntyp 10



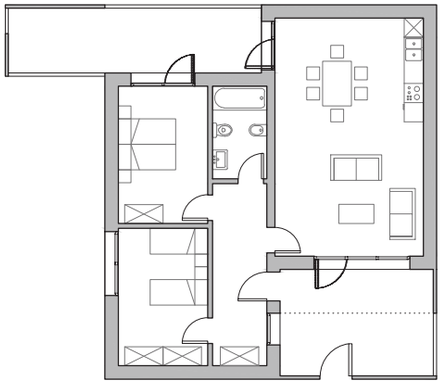




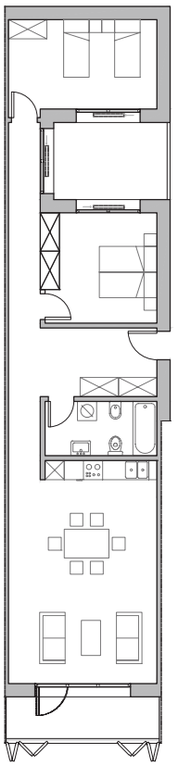
Wohntyp 11



Wohntyp 12



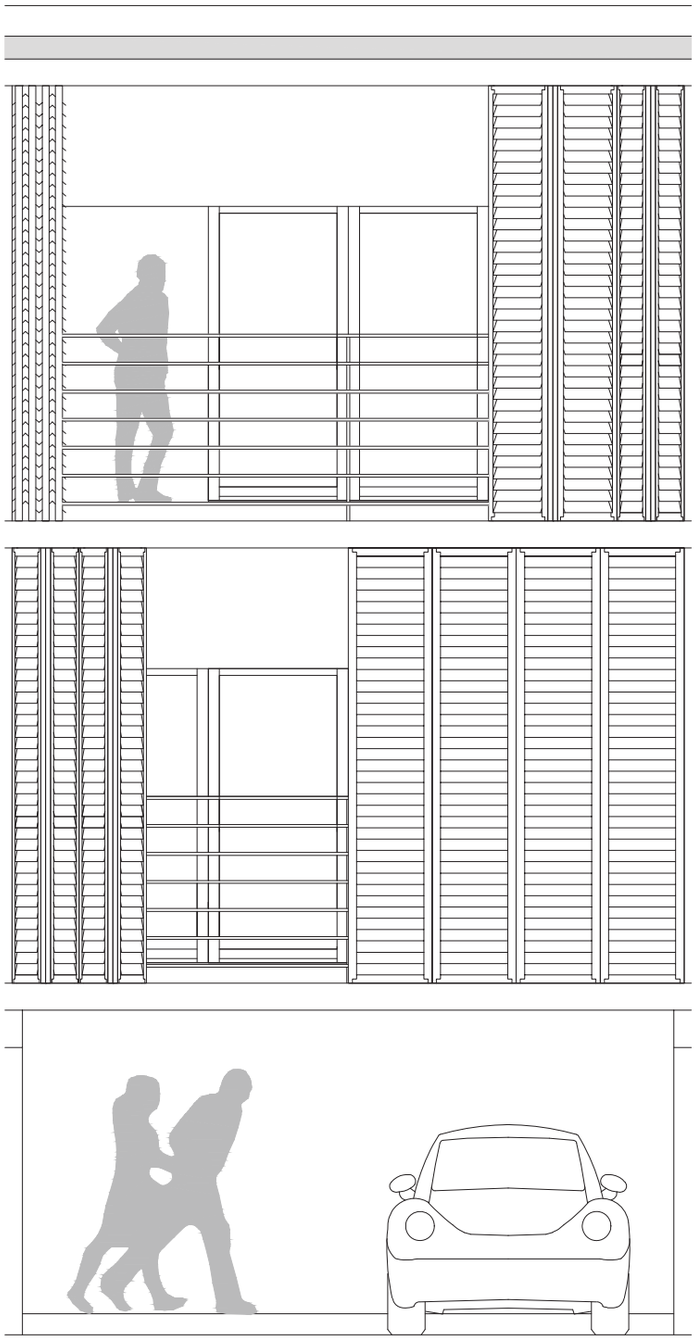
Wohntyp 13

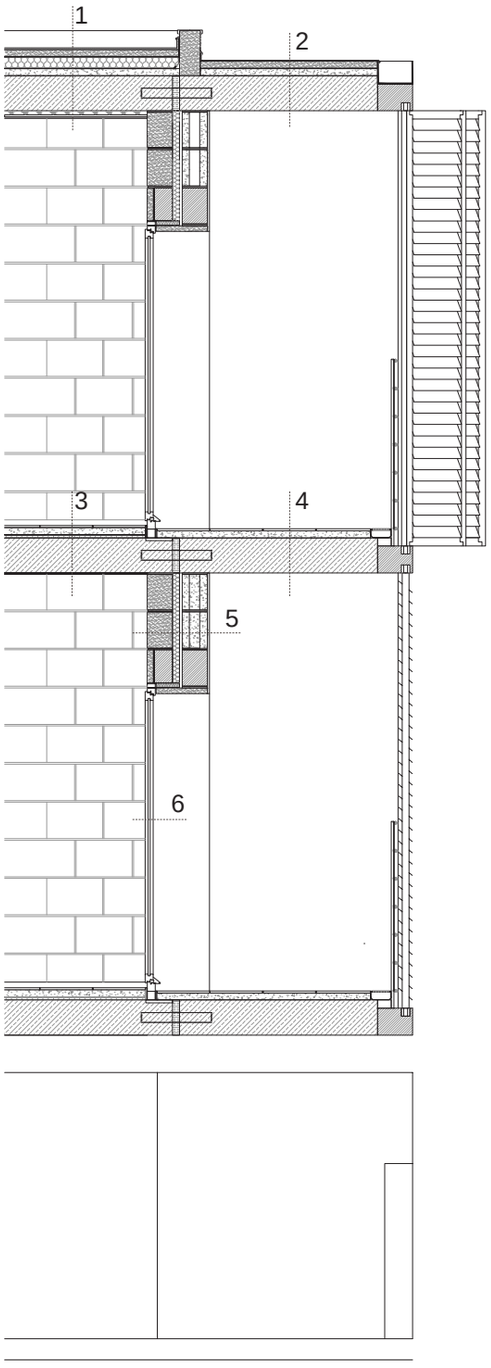


0 2m 10m



4.5. Details





1.Dach
Weiße Dachmembrane, Sarnafil G410, 12mm
Leichtbeton, 50mm
EPS Wärmedämmplatte, 60mm
Verkleinerter Sandstein *“Torba”*, 50mm
Stahlbeton, 250mm
Innenputz, 10mm
Variotherm Deckenkühlungspaneele ,
(Gipskartonplatte 18mm + Rohren 11,6 mm)

2.Vordach
Wasserdichte Membrane,10mm
Leichtbeton, 50mm
Verkleinerter Sandstein *“Torba”*, 50mm
Stahlbeton, 250mm

3.Decke
Bodenbelag Fliesen 10mm
Leichtbeton, 50mm
Trittschalldämmung, 40mm
Stahlbeton, 250mm

4.Balkon
Bodenbelag Fliesen 10mm
Leichtbeton, 50mm
Stahlbeton, 250mm

5.Außenwand
Sandsteinziegel, 180mm
Korkplatte, 20 mm
Luftschicht, 20mm
Hohlblock-Betonziegel, 180mm
Außenputz, 15mm

6.Fenster
Holzrahmen, 80mm
Isolierglas, 6x12x6mm

0 50cm 2,5m



Berechnung

5. Einflüsse baulicher Maßnahmen auf das winterliche und sommerliche Verhalten

Die Untersuchung soll die Einflüsse von geometrischen und konstruktiven Vorkehrungen auf die Behaglichkeit im Raum abklären, um Planungsempfehlungen für den Entwurf abzuleiten. Es wird daher ein rechnerisches Modell einiger Wohntypen entwickelt, das den Temperaturverlauf im Raum und auf den inneren Oberflächen berechnet. Die Schwankungen einzelner Parameter wie Orientierung, Beschattung und thermische Qualität der Außenbauteile werden für je einen Tag im Sommer und im Winter dargestellt.

Der Heizwärmebedarf wird als zusätzlicher Indikator benutzt, um den Einfluss der Eigenschaften der Gebäudehülle auf die gesamte Heizungsperiode zu bewerten.

5.1. Klimadaten

Wegen der Knappheit langjähriger meteorologischer Messdaten, besonders bezüglich der Sonneneinstrahlung, wird für die Berechnung eine Datengrundlage verwendet, die auf Messdaten aus dem Zeitintervall zwischen 1996 und 1999 fußt und durch Standard-statistische Methoden am IET auf langjährige Verhältnisse umgelegt wurde [Fsa98, Fsa08]. Der Vergleich mit Langzeitmessungen des MMO (“Malta Methereological Office”) von 1961 bis 1990 am Flughafen Luqa zeigt eine Übereinstimmung der Daten bis auf eine Differenz von 1-3% [Fsa08].

Abbildung 62 und 63 zeigen den Verlauf der mittleren monatlichen Temperaturen und der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche gemäß der zwei genannten Datengrundlagen. Im Vergleich: Daten der Österreichischer Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und des „Photovoltaic Geographical Information System“ (PVIGS) der Europäischen Kommission.

Die zwei ausgewählten Tage im Sommer und Winter werden in einem Zeitraum gewählt, an dem die mittlere Lufttemperatur und Bestrahlungsstärke auf Extremwerten liegen. Im Sommer schwankt die Lufttemperatur am 15. August zwischen 24 und 34 °C und erreicht innerhalb einer bzw. zwei Wochen die Jahresmaximalwerte. Es ist interessant, dass die Tagesschwankungen in der Hitzeperiode nicht sehr hoch sind. Im Vergleich zu Wien ist die durchschnittliche Sommertemperatur um 4 Grad höher. Das absolute Maximum auf Malta liegt im Juli bei 39,4 °C, in Wien bei 36,1 [ZAMG]. Die Trübungsfaktoren der Atmosphäre werden für einen Strahlungstag, d.h. einen klaren, unbewölkten Tag, gewählt.

Als Tag für die Kälteperiode wird der 14. Februar, also ein Tag im kältesten Monat, gewählt. Die Temperatur schwankt zwischen einem mittleren maximalen Wert von 14,8 °C und einer minimalen Mitteltemperatur von 9,3°C.

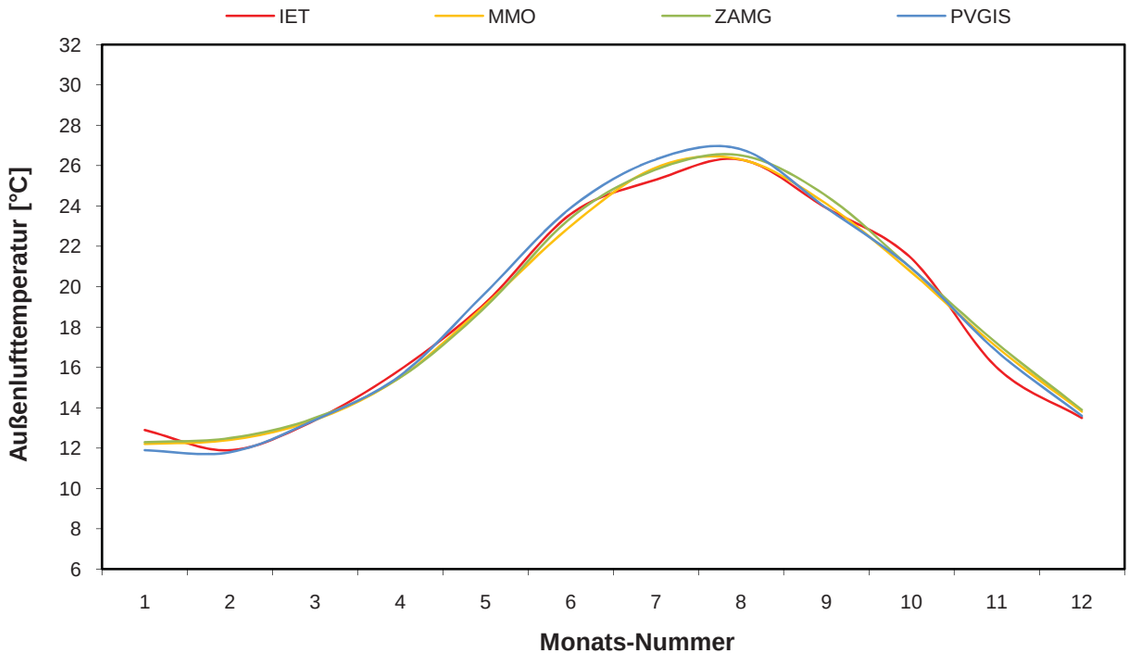


Abb. 62: Langjährige Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur

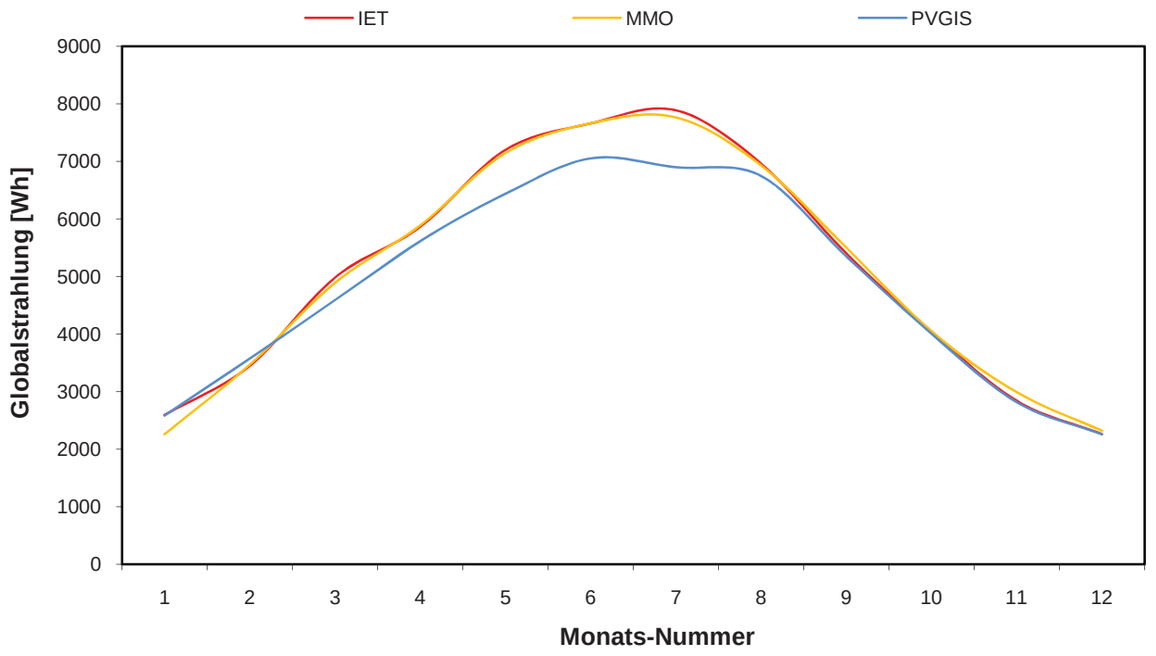


Abb. 63: Mittlere monatliche Tagessummen von Direkt- und Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche

(IET: 1996-1999, Institut of Energy Technology, Marsaxlokk; MMO: 1961-1990, Malta Meterological Office, Luqa Flughafen; ZAMG: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Luqa; Photovoltaic Geographical Information System, Valletta)

5.2 Durchführung der Berechnung, Parameterstudie

Die rechnerische Untersuchung des Raumverhaltens wird mittels Parameterstudien an zwei Wohntypen unterschiedlicher Himmelsausrichtung durchgeführt. Die zu untersuchenden Parameter sind jene Größen, welche das Verhalten im Sommer und Winter deutlich beeinflussen können. Hierunter fallen die Himmelsausrichtung der Fensterfläche, die Art der Verschattung, die thermische Qualität der Wände, die Eigenschaften des Dachs und der Bodenplatte und die Auswirkung der Nachtlüftung auf das thermische Verhalten.

5.2.1. Geometrie der analysierten Wohntypen und konstant gehaltene Parameter der Berechnung

Die zwei Wohntypen haben je drei Außenwände, unterscheiden sich aber in ihrer Ausrichtung entlang der Nord-Süd bzw. der Ost-West Achse. Die Eigenschaften von Dach und Fußbodenplatte werden als Berechnungsvarianten eingeführt. Innenwände und Türen haben die gleiche thermische Qualität. Die Ausführung der Wände der Grundvariante wird gemäß der gängigen Inselbauweise mit einem U-Wert von 1,09 W/m^2K angesetzt. Die Berechnung des Temperaturverlaufs für die gewählten Tage erfolgt jeweils für den Wohnraum der beiden Typen.

Entsprechend der Nutzung dieses Raums wird unter tags der hygienisch erforderliche Luftwechsel für 4 Personen angesetzt. Im Sommer wird er während der Nacht (in der Zeit zwischen 22 Uhr und 8 Uhr) verstärkt, mit einer Luftwechselzahl (LWZ) von 3,0 h^{-1}.

Die Fenster bestehen in allen Varianten aus einem Zweischeiben-Isolierglas (6-12-6 mm). Der verwendete Rahmen ist ein Verbundrahmen aus Holz.

Die helle Fassade hat eine Strahlungsabsorptionszahl von 0,5.

Im Sommer werden von 7 bis 20 Uhr Außenjalousien mit einer für direkte und diffuse Einstrahlungen angenommenen Durchlässigkeit von 0,27 verwendet. Der Raum wird zwischen 22 und 8 Uhr verstärkt belüftet (LWZ 3,0 h^{-1}).

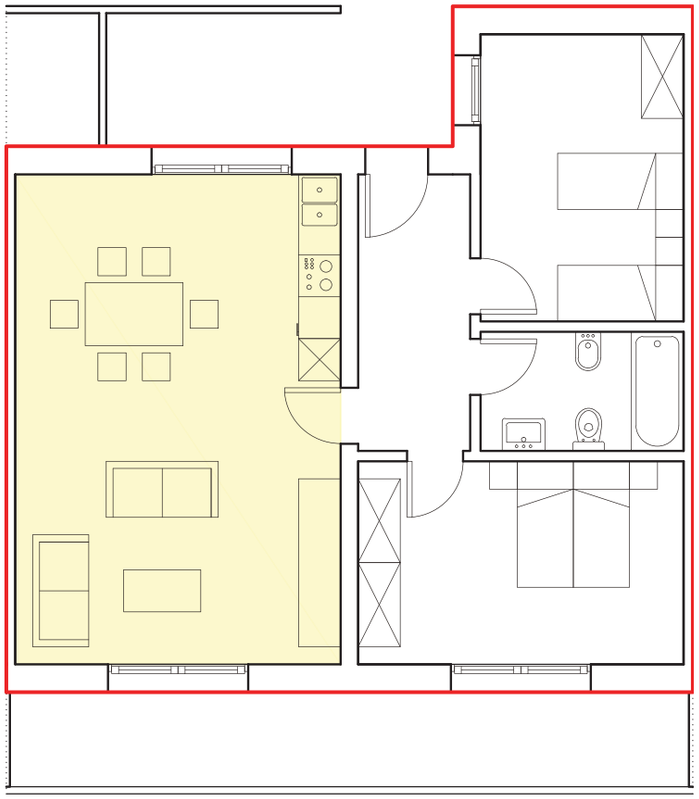


Abb. 64: Wohnungstyp 1. Nord-Süd Orientierung, Gesamte Energiebezugsfläche: 83,34 m², Wohnraum: 32,55 m²



Abb. 65: Wohnungstyp 2. Ost-West Orientierung, Gesamte Energiebezugsfläche: 87,69 m², Wohnraum: 33,52 m²

5.2.2. Orientierung der Fensterfläche und Verschattungsgeometrie

Die Orientierung der Fenster spielt auf das thermische Verhalten des Innenraums eine entscheidende Rolle. Im Winter zeigt die Südorientierung positive Effekte auf den Temperaturverlauf der verschiedenen Oberflächen und nützt die Wärmespeicherfähigkeit, besonders am Fußboden aus. Die mittlere Lufttemperatur für den Wohnungstyp 1 nach Süden ist am 15. August 0,9 °C niedriger als die Temperatur im Wohnraum nach Westen. Am 14. Februar ist die mittlere Oberflächentemperatur an den Innenwänden 1,7°C höher. Der Heizwärmebedarf ist für den Wohnungstyp 1 sehr klein (0,48 kWh/m²a). Der entsprechende Wert für die Wohnung nach Westen beträgt 5,16 kWh/m²a.

Es ist zu bemerken, dass die Norm [BRO06] einige Anweisungen für die maximale Größe der Verglasungen gibt und eine Ausrichtung nach Süden empfiehlt. Obere Grenzwerte für die Glasfläche für verschiedene Fassadenorientierungen sind: 25% der Nordfassade, 20% der Südfassade, 12% nach Ost und 9% nach West. Der Wohnungstyp 1 berücksichtigt diese Vorschriften, während der Wohnungstyp 2 die angegebenen Werte beträchtlich überschreitet.

Im Zusammenhang mit einer günstigen Orientierung, hat die Wahl der Beschattungssysteme für das sommerliche Raumverhalten eine wesentliche Bedeutung. Horizontale Leisten, wie die Bodenplatte von der Loggia, bewirken bedeutende Effekte bei südorientierten Fassaden, sind aber ungenügend oder nachteilhaft bei Westorientierung. Dagegen zeigen bewegliche waagerechte Elemente beachtliche Effekte.

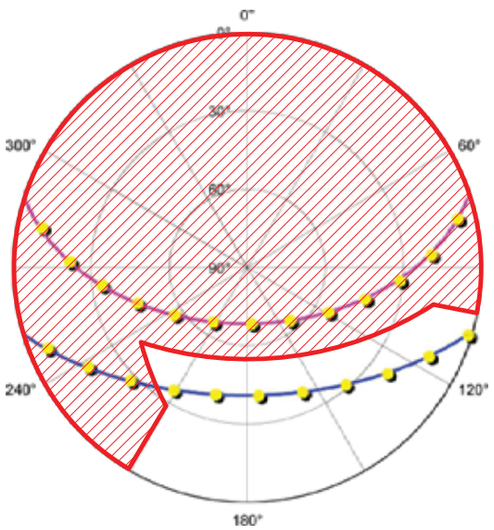


Abb. 66: Polardiagramm für den Tagesgang des Sonnenstandes für die zwei analysierten Tage (14.Februar auf blaue Linie, 15.August auf rosa Linie) und Beschattungseffekte der Loggia auf die Südverglasung im Wohnraum 1

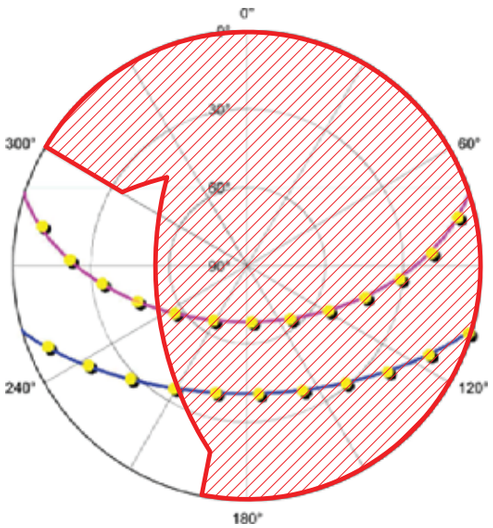


Abb. 67: Polardiagramm für den Tagesgang des Sonnenstandes für die zwei analysierten Tage (14.Februar auf blaue Linie, 15.August auf rosa Linie) und Beschattungseffekte der Loggia auf die Westverglasung im Wohnraum 2

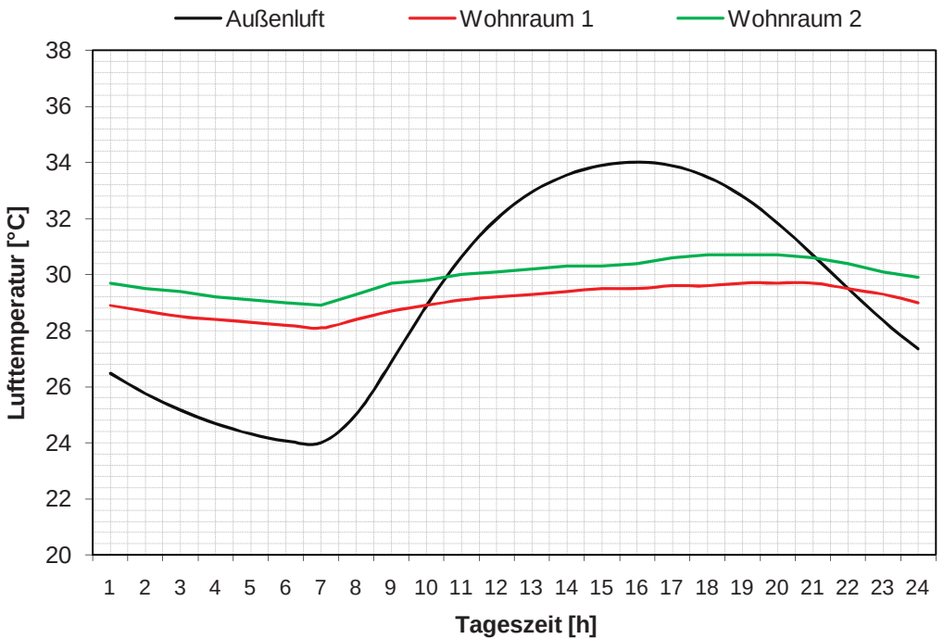


Abb. 68: Berechnete Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für zwei verschiedene Orientierungen am 15. August

Variable Parameter

→	Analysiertes Wohntyp	Wohnungstyp 1-Wohnungstyp 2

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Außenwand	"V0" (keine WD)	1,09
Dach	ø	
Fußbodenplatte	ø	

Luftwechselzahl	Winter (14.Februar): 0,2 h^{-1}(0-24 h)
	Sommer (15.August): 0,2 h^{-1}(8-22 h); 3,0 h^{-1}(22-8 h)

Wohnungstyp 1
Nord-Süd Orientierung
Gesamte Energiebezugsfläche: 83,34 m²
Wohnraum W1: 32,55 m²
Wohnungstyp 2
Ost-West Orientierung
Gesamte Energiebezugsfläche: 87,69 m²
Wohnraum W2: 33,52 m²

Unvariable Parameter

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Fensterglas	Zweischeiben-Isolierglas, Klarglas, 6-12-6	3,06
Fensterrahmen	Holzrahmen	1,44
Innenwand	Sandsteinziegelwand	
Innentür	Holztür	

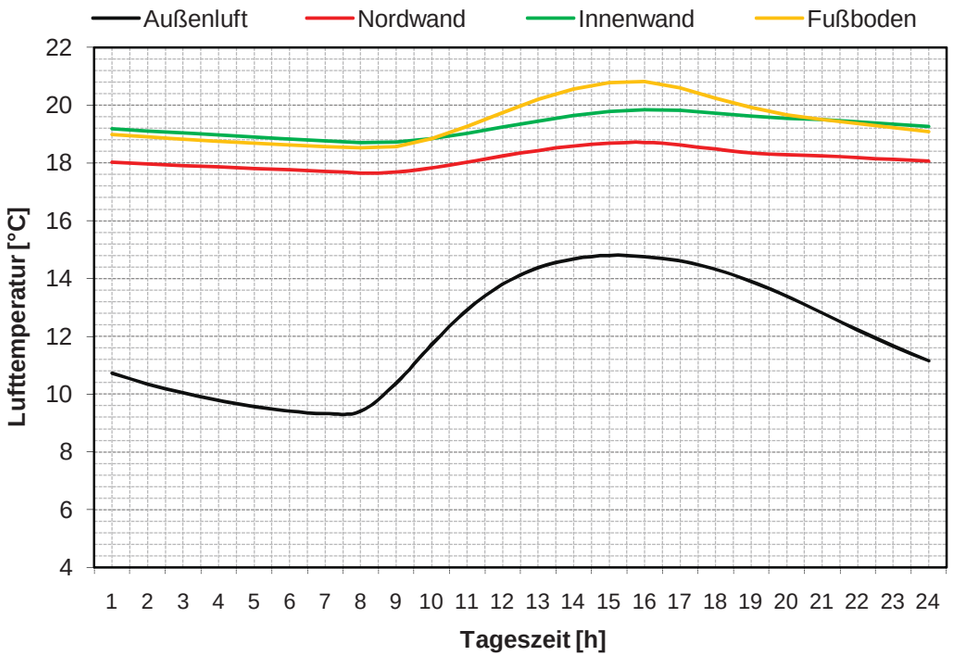


Abb. 69: Berechnete Tagesverläufe der inneren Oberflächentemperatur für den Wohnungstyp 1 am 14. Februar

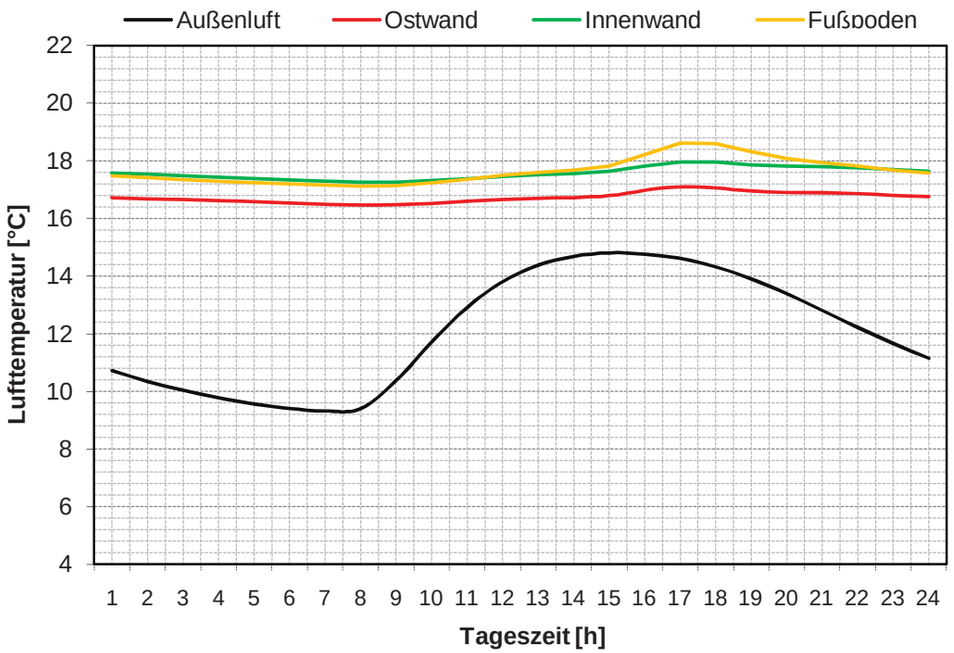


Abb. 70: Berechnete Tagesverläufe der inneren Oberflächentemperatur für den Wohnungstyp 2 am 14. Februar

5.2.3. Wärmedurchgang durch die Außenwände

Die Festlegung der thermischen Qualität der Außenbauteile ist für eine Verbesserung sowohl im Winter als auch im Sommer entscheidend. Sie muss aber auch auf die auf der Insel gebräuchlichen Bautechniken Rücksicht nehmen. Das einzige auf der Insel vorhandene Baumaterial ist der Globigerina Sandstein, der in große Ziegel verarbeitet wird. Die mechanischen und thermischen Eigenschaften dieses Natursteins sind sehr variabel und hängen von der Zusammensetzung des Bodens ab, aus dem er gefördert wurde. Im Maltesischen bezeichnet man als „Soll“ ein Material schlechter Qualität, und als „Franka“ die für die Baukonstruktion geeignete Blöcke. Der Stein ist im Normalfall weich und porös (der Widerstand in Hinblick auf die Wasserdampfdiffusion ist klein; μ beträgt 7,8 [REC07]) und zeigt für einen Ziegel guter Qualität eine Schwankung der Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,8 W/mK und 1,8 W/mK. Wegen besserer Eigenschaften und häufiger Salzbeschädigung dieses Materials, besonders in den Küstenzonen, werden die traditionellen Franka-Ziegel heutzutage immer mehr von Hohlziegeln aus Beton ersetzt. Dennoch bleibt der lokale Stein das günstigste Material am Markt und ist darüber hinaus ein Charakteristikum der maltesischen Architektur.

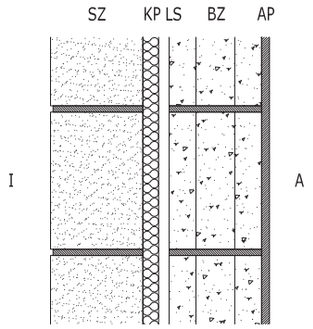
Im Entwurf wird die Doppelhaut der Außenwände mit einer äußeren Schale aus Hohlbetonziegeln und einem der salzreichen Meeresluft Widerstandleistendem Außenputz versehen. Der Innenraum wird mit unverputzten Steinziegeln gestaltet.

Eine Wärmedämmung aus Kork mit niedrigem Widerstand gegen Wasserdampfdiffusion scheint eine mögliche Anwendung, um die Wasserdampfdiffusion durch die Wände nicht zu unterbrechen.

Die Verwendung einer Wärmedämmung gewinnt eine besondere Bedeutung, wenn man bedenkt, dass in den Gebäudeplanung normalerweise keine Heizungsanlage vorgesehen wird. Die Richtlinien [BRO06] geben als Maximalwert für die Wände ein U-Wert von 1,57 W/m²K an. Die Festlegung der thermischen Qualität

der Außenwände hängt von der Auswirkung auf die Raumbedingungen im Winter und Sommer ab. Drei Wände mit verschiedener Wärmedämmung werden als Berechnungsvarianten untersucht: Typ „V0“ hat keine Wärmedämmung und einen U-Wert von 1,09 W/m²K; Typ „V1“ ist mit einer Korkplatte von 2 cm als Kerndämmung und besitzt einen U-Wert von 0,77 W/m²K; bei Typ „V2“ wird die Dichte der Korkplatte auf 4 cm erhöht ; der U-Wert beträgt 0,59 W/m²K.

Im Winter bewirkt die Verwendung einer 2 cm Korkplatte eine Erhöhung der minimalen Temperatur auf der Innenoberfläche der Ostfassade von 16,5 auf 17,3 °C. Bei Verwendung von 4 cm Dämmung steigt die innere Oberflächentemperatur auf 17,9 °C an. Der Temperaturverlauf im Innenraum während des Sommers wird von den Dämm-Maßnahmen kaum beeinflusst.



SZ: Sandsteinziegel
KP: Korkplatte
LS: Luftschicht
BZ: Hohlblock-Betonziegel
AP: Außenputz

Variable Parameter

Analysiertes Wohntyp	Wohnungstyp 2

Bauteile	**Bezeichnung**
→ Außenwand	V0,V1,V2
Dach	ø
Fußbodenplatte	ø

Luftwechselzahl	Winter (14.Februar): 0,2 h^{-1}(0-24 h)
	Sommer (15.August): 0,2 h^{-1}(8-22 h); 3,0 h^{-1}(22-8 h)

V0
SZ 18cm/LS 4cm/BZ 18cm/AP 1,5cm $U_{w\ luft \rightarrow luft}$= 1,09 W/m²K
V1
SZ 18cm/KP 2cm/ LS 2cm/BZ 18cm/AP 1,5cm $U_{w\ luft \rightarrow luft}$= 0,77 W/m²K
V2
SZ 18cm/KP 4cm/BZ 18cm/AP 1,5cm $U_{w\ luft \rightarrow luft}$= 0,59 W/m²K

Unvariable Parameter

Bauteile	**Bezeichnung**	**Uw [W/m²K]**
Fensterglas	Zweischeiben-Isolierglas, Klarglas, 6-12-6	3,06
Fensterrahmen	Holzrahmen	1,44
Innenwand	Sandsteinziegelwand	
Innentür	Holztür	

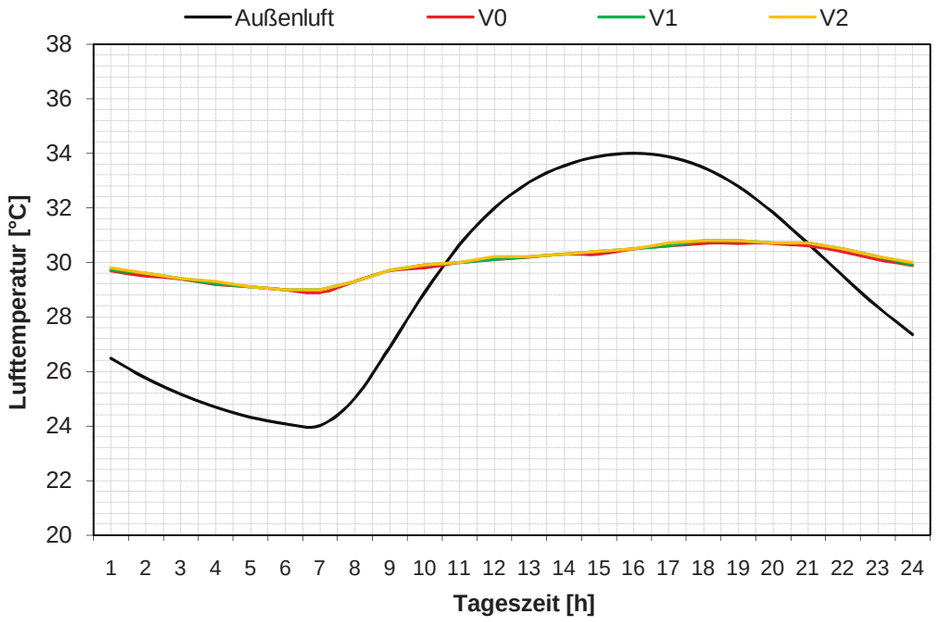


Abb. 71: Sommerliche Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für drei verschiedene Wandtypen im Wohnungstyp 2 am 15. August

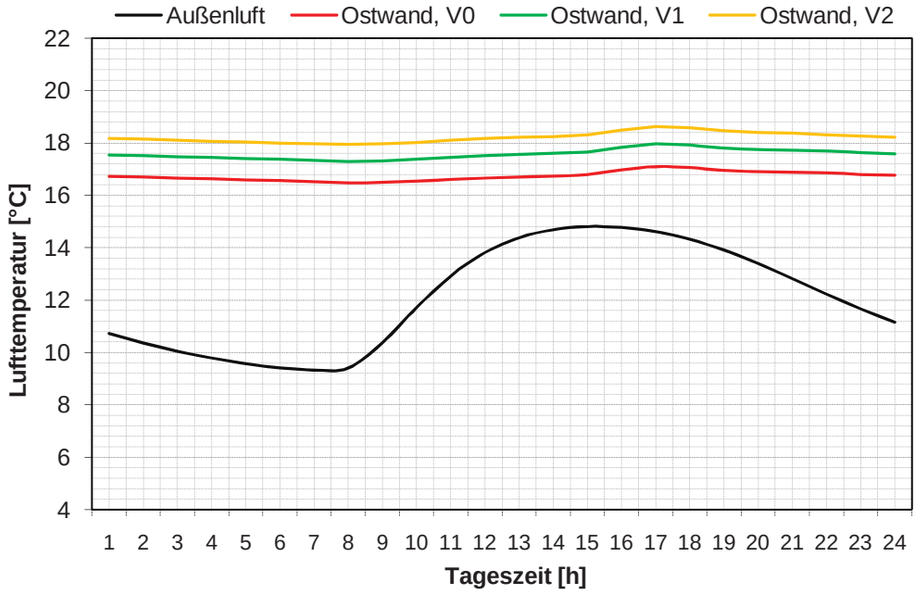
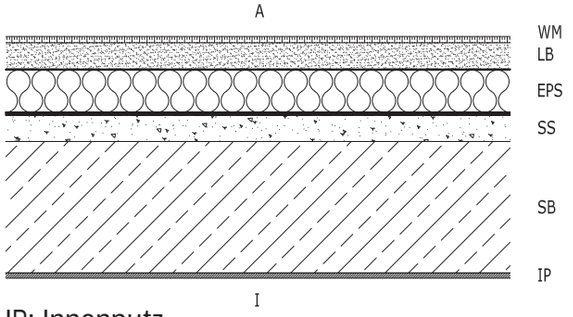


Abb. 72: Winterliche Tagesverläufe der inneren Oberflächetemperatur für drei verschiedene Wandtypen im Wohnungstyp 2 am 14. Februar

5.2.4. Eigenschaften des Dachs

Im traditionellen Wohnbau wurde die Tragstruktur des Dachs aus Stein oder seltener aus Holz gebaut. Heutzutage ist eine tragende Stahlbetonstruktur mit Schüttung aus Stein und Leichtbeton bedeckt. Die Nutzung von dunklen Membranen ist verbreitet, um das Dach wasserdicht zu machen. Die Effekte einer Wärmedämmung und einer weißen Dachmembrane werden für den Wohnungstyp 1 untersucht. Die Temperaturverläufe werden für vier verschiedenen Dachtypen berechnet: Typ „V0“ hat keine Wärmedämmung und der gesamte U-Wert beträgt 2,58 W/m²K; Typ „V1“ besitzt eine weiße Dachmembrane mit einem Widerstand von 0,34 m²K/W und hat einen U-Wert von 1,4 W/m²K; Typ „V2“ ist mit 8 cm extrudiertemPolystyrol gedämmt und besitzt einen U-Wert von 0,42 W/m²K; Typ“V3“ hat 4 cm EPS und eine weiße Dachmembrane mit einem Wärmedurchgangskoeffizient von 0,58 W/m²K.

Der Typ „V3“ zeigt im Sommer und Winter das günstigste Verhalten. Im Wohnraum 1 ist die Innenlufttemperatur für die Variante „V3“ im Sommer 0,8 °C niedriger als für die Grundvariante „V0“. Am 14. Februar beträgt die mittlere Temperatur auf die Innenoberfläche des Dachs „V3“ 17,3 °C und der Heizwärmebedarf beträgt 12,1 kWh/m²a, 3,7°C höher als für die Variante „V0“, welche einen HWB von 59,69 kWh/m²a hat. Die Variante „V1“ hat einen HWB von 29,37 kWh/m²a, „V2“ einen HWB von 8,89 kWh/m²a.



IP: Innenputz
SB: Stahlbeton
SS: Schüttung aus Sandstein
EPS: Extrudiertes Polystirol
LB: Leichtbeton
WM: Weiße Dachmembrane

Variable Parameter

Analysiertes Wohntyp	Wohnungstyp 2

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Außenwand	"V0" (keine WD)	1,09
→ Dach	V0,V1,V2,V3	
Fußbodenplatte	ø	

Luftwechselzahl	Winter (14.Februar): 0,2 h^{-1}(0-24 h)
	Sommer (15.August): 0,2 h^{-1}(8-22 h); 3,0 h^{-1}(22-8 h)

Unvariable Parameter

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Fensterglas	Zweischeiben-Isolierglas, Klarglas, 6-12-6	3,06
Fensterrahmen	Holzrahmen	1,44
Innenwand	Sandsteinziegelwand	
Innentür	Holztür	

V0
IP 1cm/SB 25cm/SS 5cm/LB 5cm $U_{w\ luft \rightarrow luft}$= 2,58 W/m²K
V1
IP 1cm/SB 25cm/SS 5cm/LB 5cm/WM 1,2cm $U_{w\ luft \rightarrow luft}$= 1,37 W/m²K
V2
IP 1cm/SB 25cm/SS 5cm/EPS 8cm/LB 5cm $U_{w\ luft \rightarrow luft}$= 0,42 W/m²K
V3
IP 1cm/SB 25cm/SS 5cm/EPS 8cm/LB 5cm/WM 1,2cm $U_{w\ luft \rightarrow luft}$= 0,58 W/m²K

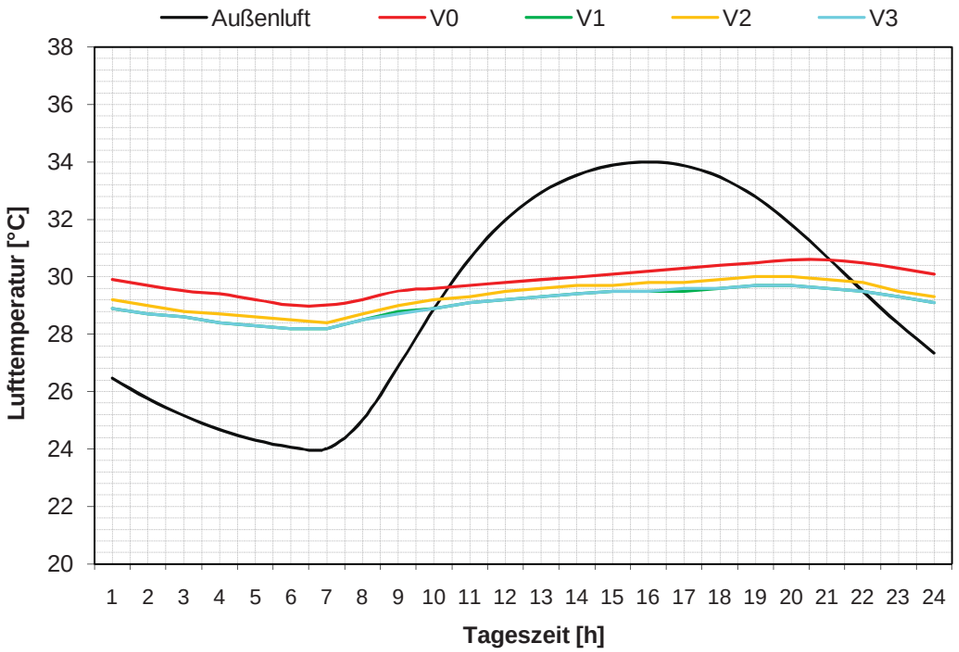


Abb. 73: Sommerliche Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für vier Dachtypen am 15. August

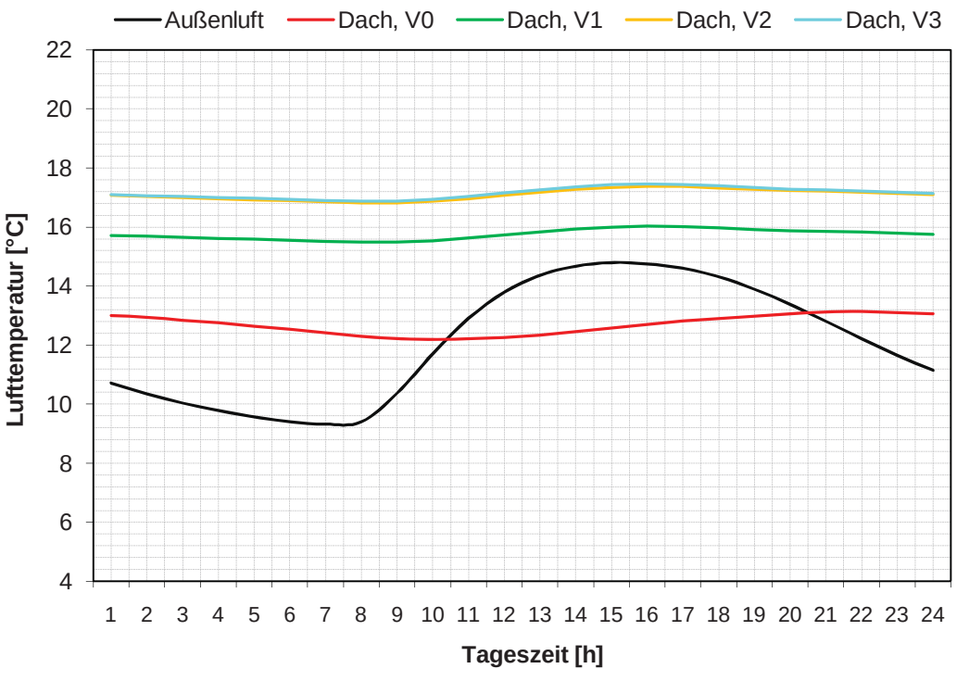
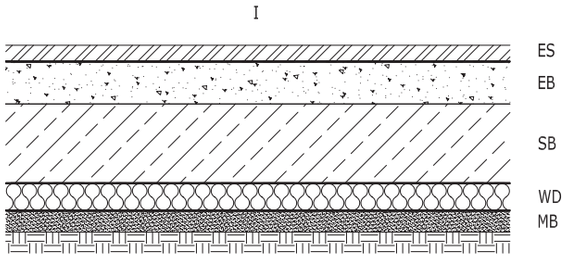


Abb. 74: Temperaturverlauf auf der inneren Dachoberflächen für die vier Dachtypen am 14. Februar

5.2.5. Dämmung der Bodenplatte

Die Wärmedämmung der Bodenplatte hat wesentlichen Einfluss auf das Verhalten der winterlichen Innentemperatur. Die Erhöhung der Wärmedämmung von der Variante V0 (ohne Wärmedämmung) zur Variante „V3“ mit 10 cm Wärmedämmung zeigt eine Verbesserung der winterlichen Bedingungen im Innenraum mit einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs von 66,51 kWh/m²a auf 11,81 kWh/m²a. Die mittlere Oberflächentemperatur des Fußbodens steigt von einem Wert der Variante „V1“ von 14,7 °C auf einen Wert der „V3“ von 16,4 °C.



MB: Magerbeton
WD: Wärmedämmung
SB: Stahlbeton
EB: Estrichbeton
ES: Estrich

Variable Parameter

Analysiertes Wohntyp	Wohnungstyp 2

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Außenwand	"V0" (keine WD)	1,09
Dach	ø	
→ Fußbodenplatte	V0,V1,V2,V3	

Luftwechselzahl	Winter (14.Februar): 0,2 h^{-1}(0-24 h)
	Sommer (15.August): 0,2 h^{-1}(8-22 h); 3,0 h^{-1}(22-8 h)

Unvariable Parameter

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Fensterglas	Zweischeiben-Isolierglas, Klarglas, 6-12-6	3,06
Fensterrahmen	Holzrahmen	1,44
Innenwand	Sandsteinziegelwand	
Innentür	Holztür	

V0
MB 5cm/SB 25cm/EB 4cm/ES 2cm R = 0,21 m²K/W
V1
MB 5cm/WD 4cm/SB 25cm/EB 4cm/ES 2cm R = 1,08 m²K/W
V2
MB 5cm/WD 8cm/SB 25cm/EB 4cm/ES 2cm R = 1,99 m²K/W
V3
MB 5cm/WD 10cm/SB 25cm/EB 4cm/ES 2cm R = 2,44 m²K/W

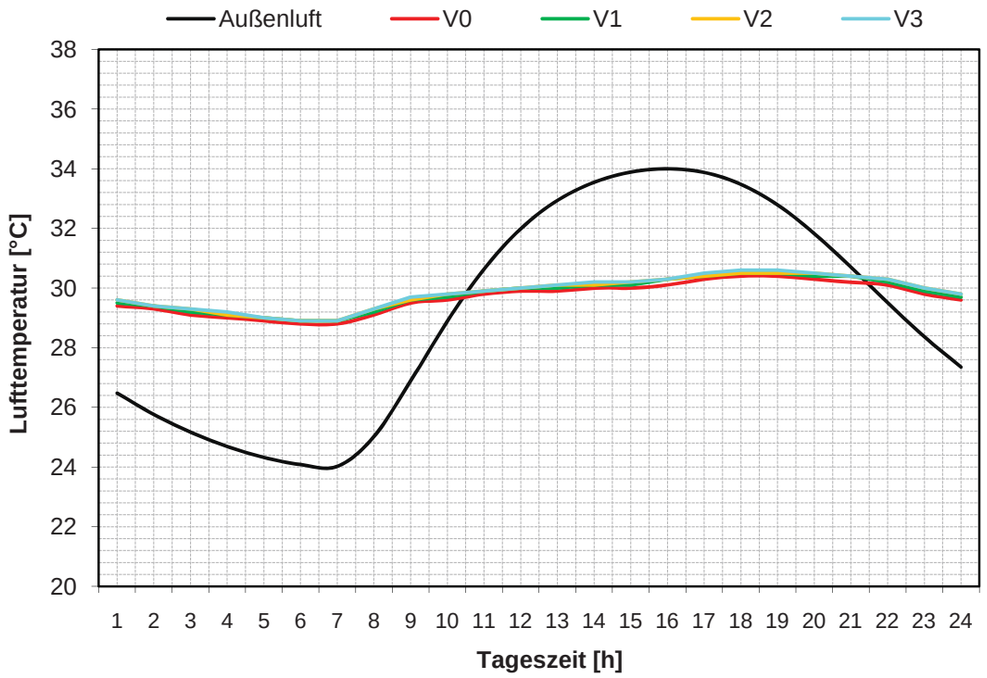


Abb. 75: Sommerliche Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für vier Typen am 15. August

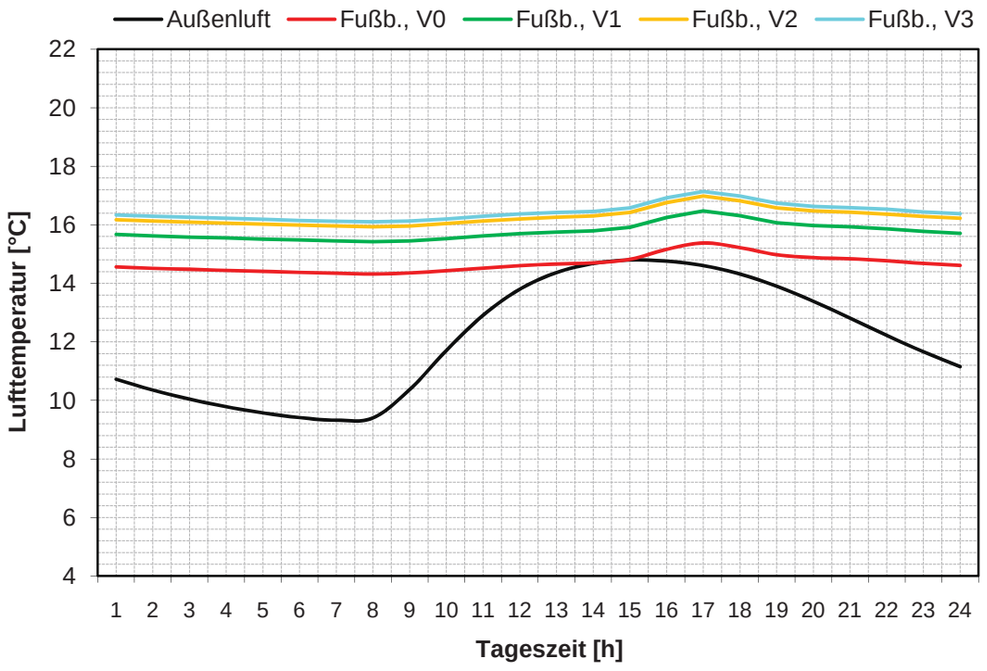


Abb. 76: Temperaturverlauf auf der inneren Fußbodenoberflächen für die vier Typen am 14. Februar.

5.2.6. Effekte verstärkter Nachtlüftung auf den sommerlichen Temperaturverlauf

Die verstärkte Nachtlüftung im Sommer erweist sich als wirksame Maßnahme, um die Temperatur im Innenraum beachtlich abzusenken. Wegen hoher Temperaturen und ungenügender Temperaturabnahme während der Nacht, bringt diese Maßnahme allein aber keine ausreichende Minderung der Innenlufttemperaturen. Abb. 14 zeigt für Wohnraum 1 eine Reduzierung der mittleren Lufttemperatur um 2,3 °C. Der Tagesverlauf der Variante „V0“, in welcher auch Nachts der hygienische Frischluftbedarf gedeckt wird, hat eine mittlere Temperatur von 31,4 °C, während der Mittelwert von „V1“, mit einem 3-fachen Luftwechsel zwischen 22 und 8 Uhr, bei 29,1 liegt.

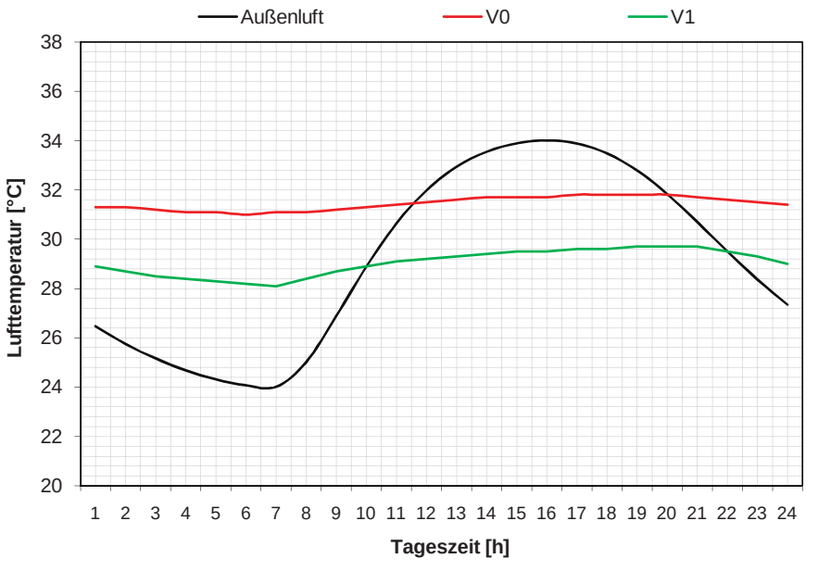


Abb. 77: Temperaturverlauf der Innenluft im Wohnraum nach Süden am 15. August. Typ V0 nutzt nur eine hygienische Luftwechselzahl, Variante V1 eine Nachtbelüftung von 22 Uhr bis 8 uhr

Variable Parameter

Analysiertes Wohntyp	Wohnungstyp 1

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Außenwand	"V0" (keine WD)	1,09
Dach	ø	
Fußbodenplatte	ø	

→	Luftwechselzahl	V0,V1

V0
Sommer (15.August): 0,2 h^{-1}(0-24 h)
V1
Sommer (15.August): 0,2 h^{-1}(8-22 h); 3,0 h^{-1}(22-8 h)

Unvariable Parameter

Bauteile	Bezeichnung	Uw [W/m²K]
Fensterglas	Zweischeiben-Isolierglas, Klarglas, 6-12-6	3,06
Fensterrahmen	Holzrahmen	1,44
Innenwand	Sandsteinziegelwand	
Innentür	Holztür	

5.3. Nutzung weitere Maßnahmen

Die analysierten Maßnahmen bringen für den 15. August wohl wesentliche Effekte im Hinblick auf eine Reduzierung der Lufttemperatur. Sie sind aber für das Erreichen akzeptabler innenklimatischer Verhältnisse nicht ausreichend.

Andererseits steigt die innere Oberflächentemperatur am 14. Februar bei thermischer Qualität der Gebäudehülle auf Werte über 17°C und führt für den gesamten Winter zu einem sehr geringen Heizwärmebedarf.

Gemäß der Ergebnisse der vorigen Berechnungen wird für die Gebäudehülle der zwei analysierten Wohntypen diese Wärmedämmung empfohlen: eine Korkplatte (λ 0,042 W/mK) mit einer Dicke von 2 cm im Raum zwischen äußerer und innerer Mauer; 4cm EPS (λ 0,041 W/mK) und eine reflektierende Dachmembrane (λ 0,024 W/mK) mit einer Dicke von 1,2 cm auf dem Dach; 10 cm Wärmedämmung (λ 0,044 W/mK) für die Bodenplatte.

Die Berechnung des HWBs und der Heizlast für die zwei Wohntypen wird mit der Nutzung dieser Wärmedämmung durchgeführt. Die Ergebnisse werden in der untenstehenden Tabelle dargestellt. Der Wohnungstyp 1 „AW+FN“ (nur Außenwände und Fenster werden in der Berechnung berücksichtigt) hat einen sehr kleinen HWB von nur 0,48 kWh/m²a und eine Raumheizlast von 2,406 kW; wenn man diesen Typ auch mit dem Dach rechnet („AW+FN+DC“), beträgt der HWB 8,13 kWh/m²a und die HL 3,321 kW. Der Wohnungstyp 2 „AW+FN“ hat einen HWB von 2,39 kWh/m²a und eine HL von 2,514 kW. Mit dem Dach beträgt der HWB dieses Typs 11,44 kWh/m²a und die HL 3,477 kW. Wenn eine Bodenplatte in die Berechnung für den Wohntyp 2 eingefügt wird, ist der HWB 7,93 kWh/m²a und die HL 3,149 kW.

Um den geringen Heizbedarf im Winter zu decken und die noch hohen sommerlichen Temperaturen zu mindern, müssen weitere Technologien angewendet werden. Zu diesem Zweck wird die Nutzung einer reversiblen Erdwärmepumpe für die ganze Siedlung

Wohntyp	Außenbauteil	Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	Raumheizlast [kW]
1) Wohntyp 1A	AW+FN	0,48	2,406
2) Wohntyp 1AD	AW+FN+DC	8,13	3,321
3) Wohntyp 2A	AW+FN	2,39	2,514
3) Wohntyp 2AD	AW+FN+DC	11,44	3,477
3) Wohntyp 2AB	AW+FN+BP	7,93	3,149

AW: Außenwand
FN: Fenster
DC: Dach
BP: Bodenplatte

vorgeschlagen. Das System kann die Meeresnähe und die Speicherfähigkeit des Erdbodens nutzen, um fließendes Wasser vorzubehandeln und soll mittels Deckensysteme für die Heizung und Kühlung im Raum installiert werden. Bezüglich dieser Betrachtungen sind weitere Untersuchungen über die Anwendung dieser Technologien im maltesischen Zusammenhang zu empfehlen.

5.4. Folgerungen

Südorientierung und geeignete Dimension der Glasfläche haben im Zusammenhang mit einer günstigen Verschattung bedeutende Effekte auf die Innentemperatur im Winter und Sommer. Die empfehlenswerte Größe der Öffnungen wird in der Norm [BRO06] angezeigt: 25% der Nordfassade, 20% der Südfassade, 12% nach Ost und 9% nach West.

Ein gewisses Niveau von Wärmedämmung auf den Wänden kann die winterliche Behaglichkeit bedeutend verbessern, ohne empfindliche Verschlechterungen des sommerlichen Raumverhaltens zu verursachen. Diese Maßnahme erweist sich als wichtig, wenn kein weiteres Heizungssystem geplant ist. Eine Korkplatte von 2 cm innerhalb der Wand und einen Uw rund um 0,75 W/m²K für die Außenwände sind zu diesem Zweck zu empfehlen.

Die Wärmedämmung des Dachs hilft der Entkopplung des Bauteils und dient als Bremse gegen die hohe Sonnenstrahlung im Sommer. In Verbindung dazu kann die Nutzung einer weißen Membrane die hohe Sonneneinstrahlung großteils reflektieren und zudem als wasserdichte Schicht dienen. Eine Wärmedämmung des Dachs aus extrudiertem Polystyrol von 4cm und eine weiße PVC-Membrane von 1,2 mm zeigen positive Ergebnisse. Der Uw des Dachs muss bei circa 0,6 W/m²K liegen.

Die Wärmedämmung der Bodenplatte ist wesentlich, um die winterliche Behaglichkeit im Raum sicher zu stellen. Die minimale Dicke der Wärmedämmplatte ist 10 cm.

Verstärkte Nachtlüftung während der Hitzeperiode erweist sich als wesentliche Maßnahme für die

Raumkühlung. Relativ hohe Temperaturen in der Nacht mindern aber den positiven Effekt auf das thermische Verhalten des Innenraums. Verstärkte Nachtlüftung mit einem 3-fachen Luftwechsel kann eine Reduzierung der mittleren Temperatur um über 2° C sichern.

Die Heizlast während der kurzen Heizperiode ist sehr gering. Die thermische Qualität der Gebäudehülle sollte so gewählt werden, dass die Behaglichkeit im Gebäudeinneren gewährleistet ist.

Die untersuchten Maßnahmen reichen nicht aus, um die Sommertauglichkeit der Wohnungen sicher zu stellen. Die Nutzung einer reversiblen Wärmepumpe mit einer Wärmesonde wird empfholen, da sie zu einer Absenkung der Innentemperatur durch Ausnutzung der Wärmespeichereffekte im Erdboden führt. Weitere Untersuchungen sind über dieses Thema noch durchzuführen.

Literaturverzeichnis

[Abe06] Abela A. (2006) Thermal Performance of Insulation Samples: Applications for Malta, University of Malta

[BRO06] AA.VV. (2006) Technical Guidance F: Conservation of Fuel, Energy and natural Resourses (minimum Requirements on Energy Performance of Building Regulation), Building Regulation Office, Malta

[Buh06] Buhagiar C. (2006) The Energy Performance Building Directive (EPBD): its Implementation in Malta, Faculty of Architecture and Civil Engineering, University of Malta

[Buh1/07] Buhajar V. (2007), State of Art: Malta, IOS Press and the Authors, Malta

[Buh2/07] Buhagiar V. (2007), Thecnical Improvemet of Housing Envelopes in Malta, IOS Press and the Authors, Malta

[Cin06] Cini S. (2006) Passive solar Design Strategies for Maltese Architecture, Faculty of Architecture and Civil Engineering, University of Malta

[CIP07] Cavelius R., Isaksson C., Perednis E, Graham E. F. Read (2007) Passive Cooling Technologies, Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency, Wien

[FFY05] Farrugia R.N., Fsadni M., Yousif C. (2005) The Renewable Energy Potential of the Maltese Islands, Institute of Energy Technology, University of Malta, Malta

[For93] Ford Brian (1993) Passive Night Ventilation Cooling: Results from Field measurments in Malta, European Conference on Architecture, 17-21 May 1993

[Fsa98] Fsadni, M. (1998) Typical climatic Conditions in Malta with Implications on Buildings Design, Institute of Energy Technology, University of Malta, Malta

[Fsa99] Fsadni Michael (1999), The Girna, the maltese corbelled Stone Hut, Dominician Pubblication, Malta

[Fsa00] Fsadni, M. (2000) Sustainibility in the Energy Sector in Malta, Institute of Energy Technology,Univesrity of Malta, Malta, 2000

[Fsa02] Fsadni, M. (2006) Experimental Investigation of the thermal Conditions of a Building in Malta, Institute of Energy Technology, University of Malta, Malta

[Fsa05] Farrugia, R.N. Fsadni, M. und Yousif, C. (2005) The Renewable Energy Potential of the Maltese Island, Institute of Energy Technology, University of Malta, Malta

[Fsa05_1] Fsadni, M. (2005) Energy Efficiency in Buildings enabling renewable Energy Use for Heating and Cooling, Institute of Energy Technology,University of Malta, Malta

[Fsa06] Fsadni, M. und Saygh, A.A.M. (2006) The Potential of Bioclimatic Design in Malta, Institute of Energy Technology,

University of Malta, Malta

[Fsa1/06] Fsadni, M. (2006) Data Gathering on Renewable Energies for New Member States and Candidate Countries, Institute of Energy Technology, University of Malta, Malta

[Fsa08] Fsadni, M. und Saygh, A.A.M. (2008) Climatic Data and its Significance for Building Design in Malta, Institute of Energy Technology, University of Malta, Malta

[FSZ04] Ford B., Schiano-Phan R., Zhongcheng D (2004) The Passivhaus Standard in european warm Climate: Design Guidelines for comfortable low Energy Homes, Passive-on Project

[Gat06) Gatt P.A. (2006) Model of Limestone Weathering and Damage in Masonry: sedimentological and geotechnical Controls in the Globigerina Limestone Formation (Miocene) of Malta, Department of Civil Engeering, University of Malta

[Jac02] Jaccarini C. (2002), Ir-Razzett, the maltese Farmhouse, published by Carol Jaccarini, Malta

[Kre1/06] Krec, K. (2006) Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden, Forschungproject im Auftrag der Initiative im Fachwerband der Stein- und Keramischen Industrie

[Kre2/06] Krec, K. (2006) Thermische Gebäudesimulation, Arbeitsunterlagen zur Lehrveranstaltung

[Mah96] Mahoney L. (1996) , 5000 Years of Architecture in Malta, Valletta Pub., Valletta, Malta

[MEP05] AA.VV. (2005) State of the Environment Report 2005, Malta Environment & Planning Authority, Malta

[MEP06] AA.VV. (2006) State of the Environment Report, Sub-report 3: Climate Change, Malta Environment and Planning Authority, Malta

[NSO06] AA.VV. (2006) Environment Statistics, National Statistic Office, Malta

[NSO09] AA.VV. (2008) Demographic Review 2008, Population & Social Conditions, National Statistics Office, Malta

[REC07] Rothert E., Eggers T., Cassar J., Ruedrich J., Fitzner B., Siegmund S. (2007) Stone Properties and Weathering induced by Salt Crystallization of Maltese Globigerina Limestone, Geological Society, London

[Ric91] Rickaby P. (1991) The Art of Energy: Peake Short and Partners in Malta, Architecture Today 14, s. 34-43

[Sai06] Said-Zammit G. (2006) The architectural Heritage of the maltese Islands, The Minor Seminary, Malta

[Tre07] Treberspurg, M. (2007) Sommertauglichkeit im Wohnbau, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

[Zim05] Zimmermann, M. (2003) Handbuch der Passiven Kühlung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Abbildungverzeichnis

Abb. 1: Verteilung der Bevölkerungsdichte auf der Insel [MEP05]
Abb. 2: Energieimport in der europäischen Union [MEP05]
Abb. 3: Schwimmbäder in Mellieha
Abb. 4: Umkehrosmoseanlagen , http://www.hager-elsaesser.com/uploads/pics/RO.jpg
Abb. 5: Ölkraftwerk in Marsaxlokk
Abb. 6: Mittlere monatliche Globalstrahlung für verschiedene Städte am Mittelmeer [FFY05]
Abb. 7: Windmessungen vom IET [FFY05]
Abb. 8: Günstige Küstenzonen für Windkraftanlagen [FFY05]
Abb. 9: Mittlerer jährlicher Energieverbrauch [Fsa05]
Abb. 10: Energieverbrauch und Lufttemperatur [Fsa05_1]
Abb. 11: Die geologische Formation der Insel
Abb. 12: Grube in Gozo, http://lh5.ggpht.com/_wsgkFNR_sHk/SOwk3hdu9bI/AAAAAAAABB0/t2PAT3Qi2m8/IMG_1000.JPG
Abb. 13: Id-Dura
Abb. 14: Il-Girna [Fsa92]
Abb. 15: Kleines Farmhaus in Nadur [Jac02]
Abb. 16: Razzett in Gozo [Jac02]
Abb. 17: Terraced Houses in Hamrun
Abb. 18: Eine Straße auf Malta
Abb. 19: “Malta Stock Exchange”, http://www.mimoa.eu/images/2135_l.jpg
Abb. 20: Halle und Nebenräume, http://www.mimoa.eu/images/2136_l.jpg
Abb. 21: Farson Brewery, Process Hall, [Alexandra Albuquerque Maciel (2007) Bioclimatic integration into the Architectural design, Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy]
Abb. 22: Die Struktur eine Girna, www.bicc.gov.mt/bicc/files_folder/Bini%20Antik.pdf
Abb. 23: Girna mit Treppen in Ix-Xaghra l-Hamra [Jac02]
Abb. 24 und 25: Verteilung eines typischen Bauernhofes [Buh07]
Abb. 26: Der Einfluss des Hofhauses zum “Terraced House” [Buh07]
Abb. 27: Die Kirche im urbanen Raum
Abb. 28: “Terraced house” des 19. Jahrhunderts [Mah96]
Abb. 29: “Terraced houses” am Anfang des 20. Jahrhunderts [Mah96]
Abb. 30: Belüftungssystem, (www.mcst.gov.mt/files/uploaded/PHDCap.pdf, pg. 15)
Abb. 31: Ansicht des ganzen Gebäudes, (http://lh5.ggpht.com/_em0N3eBy_Io/RxZc-X2NiuI/AAAAAAAACoA/ujohM65XcwI/VALLETTA+%2842%29.JPG)
Abb. 32: Querschnitt der Handlungshalle [Ric91]
Abb. 33: Schematische Darstellung des Belüftungssystems [Ric91]
Abb. 34: Stündliche Temperaturverteilung im ganzen Jahr [Fsa08]
Abb. 35: Mittlere Tägliche Temperatur und Temperaturschwankung [Fsa08]
Abb. 36: Psychrometrische Verteilung der absoluten Luftfeuchtigkeit und -temperatur [Fsa08]
Abb. 37: Mittlere monatliche Tagessumme der Globalstrahlung auf die verschiedenen Fassadenoberflächen im Jahr 2003 [Fsa06]
Abb. 38: Windstärke in Abhängigkeit von der Windrichtung [Fsa98]
Abb. 39: Mittlere monatliche Niederschlagsmenge für die Jahren 1990-2005 [MSO06]

Abb. 40: Das analysierte Gebäude am IET [Fsa02]
Abb. 41: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 18-20/08/01 [Fsa02]
Abb. 42: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 16-20/08/01 [Fsa02]
Abb. 43: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 29/08-03/09/01 [Fsa02]
Abb. 44: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 14-31/12/01 [Fsa02]
Abb. 45: Zeitverlauf der gemessenen Temperatur, 01-08/01/02 [Fsa02]
Abb. 46: Grundriss des simulierten Gebäude
Abb. 47: Außenlufttemperatur, 8-11/02/03
Abb. 48: Außenufttemperatur, 15-18/07/03
Abb. 49: Globale Sonneneinstrahlung, 8-11/02/03
Abb. 50: Globale Sonneneinstrahlung, 15-18/07/03
Abb. 51: Gemessene Werte der Sonneneinstrahlung auf den verschiedenen Gebäudeoberflächen
Abb. 52: Windrichtung und Windstärke am 9. Februar 2003
Abb. 53: Windrichtung und Windstärke am 16. Juli 2003
Abb. 54: Konstruktive Querschnittzeichnung des analysierten Gebäudes
Abb. 55: Gemessener und berechneter Tagesverlauf der Raumlufttemperatur am 16. Juli
Abb. 56: Gemessener und berechneter Tagesverlauf der Raumlufttemperatur am 9. Februar
Abb. 57: Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für die verschiedenen Berechnungsfälle am 16.Juli
Abb. 58: Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für die verschiedenen Berechnungsfälle am 9. Februar
Abb. 59: Effekte der winterlichen Maßnahmen W1, W2, W3 auf den sommerlichen Temperaturverlauf
Abb. 62: Langjährige Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur
Abb. 63: Mittlere monatliche Tagessummen von Direkt- und Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche
Abb. 64: Wohnungstyp 1. Nord-Süd Orientierung, Gesamte Energiebezugsfläche: 83,34 m², Wohnraum: 32,55 m²
Abb. 65: Wohnungstyp 2. Ost-West Orientierung, Gesamte Energiebezugsfläche: 87,69 m², Wohnraum: 33,52 m²
Abb. 66: Polardiagramm für den Tagesgang des Sonnenstandes für die zwei analysierten Tage (14.Februar auf blaue Linie, 15.August auf rosa Linie) und Beschattungseffekte der Loggia auf die Südverglasung im Wohnraum 1
Abb. 67: Polardiagramm für den Tagesgang des Sonnenstandes für die zwei analysierten Tage (14.Februar auf blaue Linie, 15.August auf rosa Linie) und Beschattungseffekte der Loggia auf die Westverglasung im Wohnraum 2
Abb. 68: Berechnete Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für zwei verschiedene Orientierungen am 15. August
Abb. 69: Berechnete Tagesverläufe der inneren Oberflächentemperatur für den Wohnungstyp 1 am 14. Februar
Abb. 70: Berechnete Tagesverläufe der inneren Oberflächentemperatur für den Wohnungstyp 2 am 14. Februar
Abb. 71: Sommerliche Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für drei verschiedene Wandtypen im Wohnungstyp 2 am 15. August
Abb. 72: Winterliche Tagesverläufe der inneren Oberflächetemperatur für drei verschiedene Wandtypen im Wohnungstyp 2 am 14. Februar
Abb. 73: Sommerliche Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für vier Dachtypen am 15. August
Abb. 74: Temperaturverlauf auf der inneren Dachoberflächen für die vier Dachtypen am 14. Februar
Abb. 75: Sommerliche Tagesverläufe der Raumlufttemperatur für vier Typen am 15. August
Abb. 76: Temperaturverlauf auf der inneren Fußbodenoberflächen für die vier Typen am 14. Februar
Abb. 77: Temperaturverlauf der Innenluft im Wohnraum nach Süden am 15. August. Typ V0 nutzt nur eine hygienische Luftwechselzahl, Variante V1 eine Nachtbelüftung von 22 Uhr bis 8 uhr

Anhang

Simulation des Gebäudes am IET

Bauteil-Material	[m]	[kg/m³]	[W/m*K]	[kJ/kg*K]	[m²*K/W]
1 Fenster, Glas	0,003	2500	0,81	0,92	0,004
2 Fenster, Polyam. Scheibe	0,006	282	0,092	1,16	0,065
3 Fenster, Rahmen	0,02	75,7	10,022	0,46	0,002
4 Tür, Stahl	0,002	7800	60	0,46	0
5 Tür, Polyst. Hartsch.	0,025	35	0,05	1,4	0,5
6 Wand, Sandstein	0,23	1700	1	0,88	0,23
7 Wand, Betonziegel	0,175	1700	0,9	0,88	0,194
8 Wand, Verbindungsstein	0,435	1700	1	0,88	0,435
9 Dach, Schüttung	0,05	1500	1,317	0,88	0,038
10 Dach, EPS	0,1	35	0,04	1,4	2,5
11 Dach, "Torba"	0,15	1500	0,9	0,88	0,167
12 Dach, Beton	0,15	2000	1,317	0,88	0,114
13 Boden, Erde	0,5	1500	1	0,8	2
14 Boden, Estrichbeton	0,2	2000	1,4	1,13	0,143

EIGENSCHAFTEN DER VERWENDETEN MATERIALIEN

Sommerfall		Tm	Tmax	Tmin			
	S	28,7	29,1	29,4			
Jalousie (Gläser, Rahmen und Tür, Diff., direkt Durchl.= 0,27) 7h-20h	S1	28,1	28,3	28,4	-0,6	-0,8	-1,0
Verschattung Ost (3 m x 5,45 m)	S2	28,5	28,9	29,2	-0,2	-0,2	-0,2
Verschattung West (3 m x 5,45)	S3	28,5	28,8	29,1	-0,2	-0,3	-0,3
Verschattung Süden (1 x 16,45)	S4	28,6	29,0	29,3	-0,1	-0,1	-0,1
Sommerliche Nachtbelüftung (Max LWZ = 3 1/h) 20h-7h	S5	27,0	28,1	28,6	-1,7	-1,0	-0,8
	S6	26,8	27,4	27,7	-1,9	-1,7	-1,7

Winter		Tm	Tmax	Tmin			
	W	10,7	10,9	11,2			
Jalousie (Gläser und Rahmen. Diff., direkt Durchl.= 0,27) 19h-7h	WS1	10,9	11,1	11,3	0,2	0,1	0,1
Verschattung Ost (3 m x 5,45 m)	WS2	10,6	10,9	11,2	-0,1	0,0	0,0
Verschattung West (3 m x 5,45 m)	WS3	10,5	10,8	11,1	-0,2	-0,1	-0,1
Verschattung Süden (1 x 16,45m)	WS4	10,6	10,8	11,1	-0,1	-0,1	-0,1

Winterfall		Tm	Tmax	Tmin			
	W	10,7	10,9	11,2			
Wärmedämmung Wände = 3cm WD, Isoliergläser = 6,12,6 mm) Holzrahmen	W1	11,1	11,4	11,8	0,4	0,5	0,6
Glasfläche S = 2,2066 m², Glasfläche N = 0,5448 m²	W2	11,1	11,4	12,0	0,4	0,5	0,8
	W3	11,8	12,1	12,5	1,1	1,2	1,3

Sommer		Tm	Tmax	Tmin			
		28,7	29,1	29,4			
	SW1	29,6	30,0	30,4	0,9	0,9	1,0
	SW2	28,9	29,4	29,8	0,2	0,3	0,4

.EINFLUSS DER BERECHNETEN MASSNAHMEN AUF DIE MITTLERE INNENTEMPERATUR

16.07.2003 Aufnahme-Modell

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Innenluft IET	Berechnung
1	24,7	29,1	28,9
2	24,7	29,1	28,9
3	24,6	29,1	28,9
4	23,9	29,1	28,8
5	22,5	29,1	28,8
6	21,9	29,1	28,7
7	22,6	29,2	28,7
8	26,6	29,2	28,9
9	29,6	29,2	29,2
10	31,0	29,3	29,3
11	31,2	29,3	29,3
12	31,4	29,2	29,3
13	31,6	29,3	29,3
14	31,4	29,2	29,3
15	31,0	29,2	29,4
16	30,8	29,3	29,4
17	30,4	29,3	29,4
18	29,5	29,2	29,3
19	28,6	29,1	29,2
20	27,5	29,1	29,1
21	26,6	29,1	29,0
22	26,1	29,2	29,0
23	25,8	29,2	29,0
24	25,6	29,2	29,0

29,1	28,7
29,2	29,1
29,3	29,4

09.02.2003 Aufnahme-Modell

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Innenluft IET	Berechnung
1	10,6	15,4	10,9
2	7,1	15,4	10,8
3	6,8	15,3	10,7
4	7,0	15,3	10,7
5	9,3	15,4	10,7
6	9,9	15,3	10,7
7	9,2	15,3	10,7
8	9,2	15,3	10,8
9	11,3	15,3	10,9
10	13,4	15,3	11,0
11	16,9	15,2	11,2
12	17,3	15,2	11,2
13	16,7	14,8	11,2
14	15,6	14,6	11,2
15	15,7	14,6	11,2
16	15,8	14,6	11,2
17	14,7	14,6	11,1
18	12,8	14,6	10,9
19	11,3	14,6	10,9
20	10,4	14,6	10,8
21	9,2	14,7	10,8
22	9,0	14,7	10,8
23	10,7	14,7	10,8
24	12,3	14,7	10,9

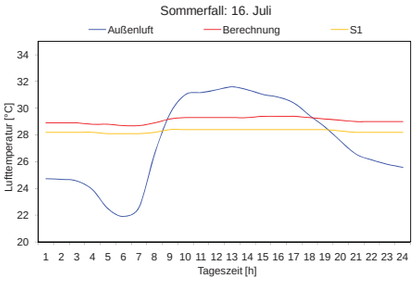
14,6	10,7
15,0	10,9
15,4	11,2

S1-Jalousie (Gläser, Rahmen und Tür, Diff., direkt Durchl.= 0,27) 7h-20h

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	S1
1	24,7	28,9	28,2
2	24,7	28,9	28,2
3	24,6	28,9	28,2
4	23,9	28,8	28,2
5	22,5	28,8	28,1
6	21,9	28,7	28,1
7	22,6	28,7	28,1
8	26,6	28,9	28,2
9	29,6	29,2	28,4
10	31,0	29,3	28,4
11	31,2	29,3	28,4
12	31,4	29,3	28,4
13	31,6	29,3	28,4
14	31,4	29,3	28,4
15	31,0	29,4	28,4
16	30,8	29,4	28,4
17	30,4	29,4	28,4
18	29,5	29,3	28,4
19	28,6	29,2	28,4
20	27,5	29,1	28,3
21	26,6	29,0	28,2
22	26,1	29,0	28,2
23	25,8	29,0	28,2
24	25,6	29,0	28,2

28,7	28,1
29,1	28,3
29,4	28,4

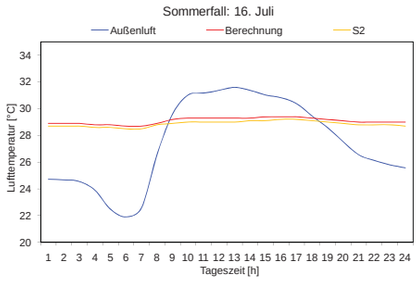


S2-Verschattung Ost (3 m x 5,45 m)

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	S2
1	24,7	28,9	28,7
2	24,7	28,9	28,7
3	24,6	28,9	28,7
4	23,9	28,8	28,6
5	22,5	28,8	28,6
6	21,9	28,7	28,5
7	22,6	28,7	28,5
8	26,6	28,9	28,8
9	29,6	29,2	28,9
10	31,0	29,3	29,0
11	31,2	29,3	29,0
12	31,4	29,3	29,0
13	31,6	29,3	29,0
14	31,4	29,3	29,1
15	31,0	29,4	29,1
16	30,8	29,4	29,2
17	30,4	29,4	29,2
18	29,5	29,3	29,1
19	28,6	29,2	29,0
20	27,5	29,1	28,9
21	26,6	29,0	28,8
22	26,1	29,0	28,8
23	25,8	29,0	28,8
24	25,6	29,0	28,7

28,7	28,5
29,1	28,9
29,4	29,2

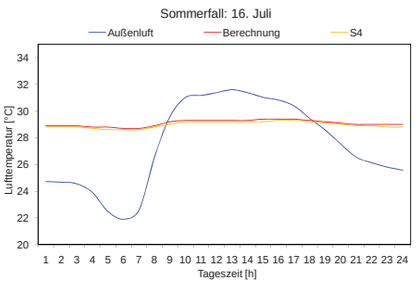


S4-Verschattung Süden (1 x 16,45)

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	S4
1	24,7	28,9	28,8
2	24,7	28,9	28,8
3	24,6	28,9	28,8
4	23,9	28,8	28,7
5	22,5	28,8	28,6
6	21,9	28,7	28,6
7	22,6	28,7	28,6
8	26,6	28,9	28,8
9	29,6	29,2	29,0
10	31,0	29,3	29,2
11	31,2	29,3	29,2
12	31,4	29,3	29,2
13	31,6	29,3	29,2
14	31,4	29,3	29,2
15	31,0	29,4	29,2
16	30,8	29,4	29,3
17	30,4	29,4	29,3
18	29,5	29,3	29,2
19	28,6	29,2	29,1
20	27,5	29,1	29,0
21	26,6	29,0	28,9
22	26,1	29,0	28,9
23	25,8	29,0	28,8
24	25,6	29,0	28,8

28,7	28,6
29,1	29,0
29,4	29,3

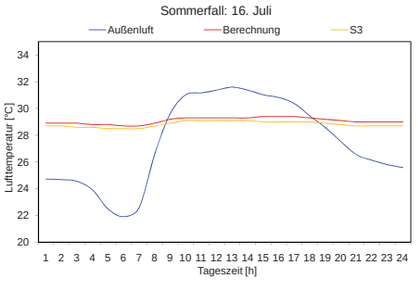


S3-Verschattung West (3 m x 5,45 m)

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	S3
1	24,7	28,9	28,7
2	24,7	28,9	28,7
3	24,6	28,9	28,6
4	23,9	28,8	28,6
5	22,5	28,8	28,5
6	21,9	28,7	28,5
7	22,6	28,7	28,5
8	26,6	28,9	28,7
9	29,6	29,2	28,9
10	31,0	29,3	29,1
11	31,2	29,3	29,1
12	31,4	29,3	29,1
13	31,6	29,3	29,1
14	31,4	29,3	29,1
15	31,0	29,4	29,0
16	30,8	29,4	29,0
17	30,4	29,4	29,0
18	29,5	29,3	29,0
19	28,6	29,2	28,9
20	27,5	29,1	28,8
21	26,6	29,0	28,7
22	26,1	29,0	28,7
23	25,8	29,0	28,7
24	25,6	29,0	28,7

28,7	28,5
29,1	28,8
29,4	29,1

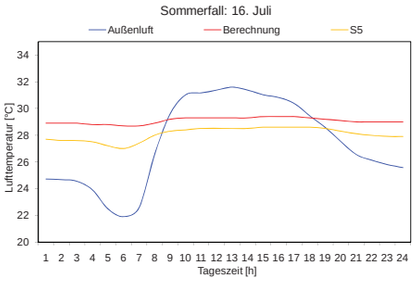


S5-Sommerliche Nachtlüftung (Max LWZ = 3 1/h) 20h-7h

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	S5
1	24,7	28,9	27,7
2	24,7	28,9	27,6
3	24,6	28,9	27,6
4	23,9	28,8	27,5
5	22,5	28,8	27,2
6	21,9	28,7	27,0
7	22,6	28,7	27,4
8	26,6	28,9	28,0
9	29,6	29,2	28,3
10	31,0	29,3	28,4
11	31,2	29,3	28,5
12	31,4	29,3	28,5
13	31,6	29,3	28,5
14	31,4	29,3	28,5
15	31,0	29,4	28,6
16	30,8	29,4	28,6
17	30,4	29,4	28,6
18	29,5	29,3	28,6
19	28,6	29,2	28,5
20	27,5	29,1	28,3
21	26,6	29,0	28,1
22	26,1	29,0	28,0
23	25,8	29,0	27,9
24	25,6	29,0	27,9

28,7	27,0
29,1	28,1
29,4	28,6

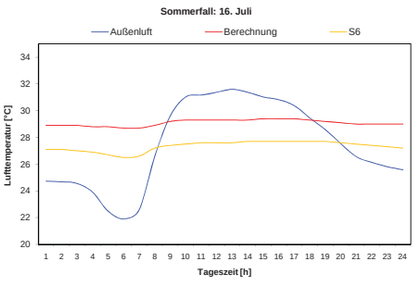


S6

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	S6
1	24,7	28,9	27,1
2	24,7	28,9	27,1
3	24,6	28,9	27,0
4	23,9	28,8	26,9
5	22,5	28,8	26,7
6	21,9	28,7	26,5
7	22,6	28,7	26,6
8	26,6	28,9	27,2
9	29,6	29,2	27,4
10	31,0	29,3	27,5
11	31,2	29,3	27,6
12	31,4	29,3	27,6
13	31,6	29,3	27,6
14	31,4	29,3	27,7
15	31,0	29,4	27,7
16	30,8	29,4	27,7
17	30,4	29,4	27,7
18	29,5	29,3	27,7
19	28,6	29,2	27,7
20	27,5	29,1	27,6
21	26,6	29,0	27,5
22	26,1	29,0	27,4
23	25,8	29,0	27,3
24	25,6	29,0	27,2

28,7	26,5
29,1	27,3
29,4	27,7



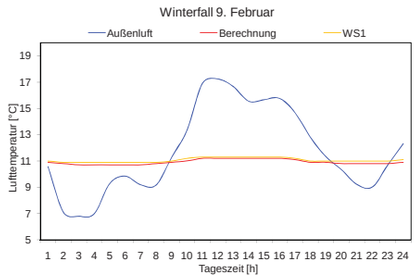
Jalousie (Gläser, Rahmen und Tür, Diff., direkt Durchl.= 0,27) 7h-20h
Verschattung Ost (3 m x 5,45 m)
Verschattung West (3 m x 5,45)
Verschattung Süden (1 x 16,45)
Sommerliche Nachtbelüftung (Max LWZ = 3 1/h) 20h-7h
Glasfläche S = 2,2066 m², Glasfläche N = 0,5448 m²
Wärmedämmung Wände = 3cm WD, Isoliergläser = 6,12,6 mm) Holzrahmen

WS1-Jalousie (Gläser und Rahmen. Diff., direkt Durchl.= 0,27) 19h-7h

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	WS1
1	10,6	10,9	11,0
2	7,1	10,8	10,9
3	6,8	10,7	10,9
4	7,0	10,7	10,9
5	9,3	10,7	10,9
6	9,9	10,7	10,9
7	9,2	10,7	10,9
8	9,2	10,8	10,9
9	11,3	10,9	11,0
10	13,4	11,0	11,2
11	16,9	11,2	11,3
12	17,3	11,2	11,3
13	16,7	11,2	11,3
14	15,6	11,2	11,3
15	15,7	11,2	11,3
16	15,8	11,2	11,3
17	14,7	11,1	11,2
18	12,8	10,9	11,0
19	11,3	10,9	11,0
20	10,4	10,8	11,0
21	9,2	10,8	11,0
22	9,0	10,8	11,0
23	10,7	10,8	11,0
24	12,3	10,9	11,1

10,7	10,9
10,9	11,1
11,2	11,3

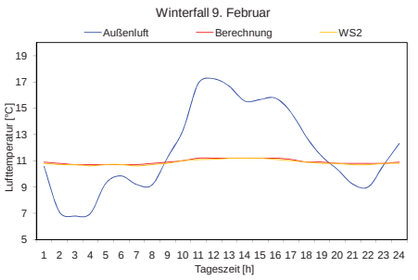


WS2-Verschattung Ost (3 m x 5.45 m)

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	WS2
1	10,6	10,9	10,8
2	7,1	10,8	10,7
3	6,8	10,7	10,7
4	7,0	10,7	10,6
5	9,3	10,7	10,7
6	9,9	10,7	10,7
7	9,2	10,7	10,6
8	9,2	10,8	10,7
9	11,3	10,9	10,8
10	13,4	11,0	11,0
11	16,9	11,2	11,1
12	17,3	11,2	11,1
13	16,7	11,2	11,2
14	15,6	11,2	11,2
15	15,7	11,2	11,2
16	15,8	11,2	11,1
17	14,7	11,1	11,0
18	12,8	10,9	10,9
19	11,3	10,9	10,8
20	10,4	10,8	10,8
21	9,2	10,8	10,7
22	9,0	10,8	10,7
23	10,7	10,8	10,8
24	12,3	10,9	10,8

10,7	10,6
10,9	10,9
11,2	11,2

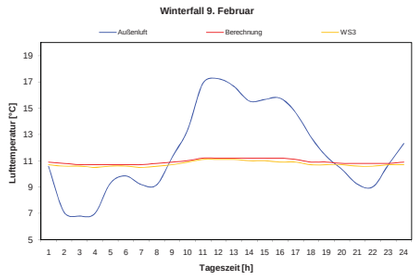


WS3-Verschattung West (3 m x 5.45 m)

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	WS3
1	10,6	10,9	10,7
2	7,1	10,8	10,6
3	6,8	10,7	10,6
4	7,0	10,7	10,5
5	9,3	10,7	10,6
6	9,9	10,7	10,6
7	9,2	10,7	10,5
8	9,2	10,8	10,6
9	11,3	10,9	10,7
10	13,4	11,0	10,9
11	16,9	11,2	11,1
12	17,3	11,2	11,1
13	16,7	11,2	11,1
14	15,6	11,2	11,0
15	15,7	11,2	11,0
16	15,8	11,2	10,9
17	14,7	11,1	10,9
18	12,8	10,9	10,7
19	11,3	10,9	10,7
20	10,4	10,8	10,7
21	9,2	10,8	10,6
22	9,0	10,8	10,6
23	10,7	10,8	10,7
24	12,3	10,9	10,7

10,7	10,5
10,9	10,8
11,2	11,1

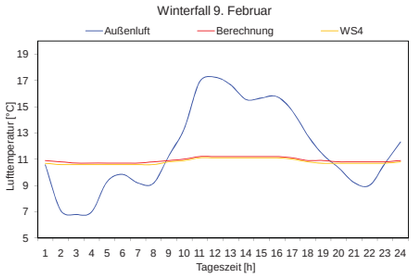


WS4-Verschattung Süden (1 x 16,45m)

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	WS4
1	10,6	10,9	10,7
2	7,1	10,8	10,6
3	6,8	10,7	10,6
4	7,0	10,7	10,6
5	9,3	10,7	10,6
6	9,9	10,7	10,6
7	9,2	10,7	10,6
8	9,2	10,8	10,6
9	11,3	10,9	10,8
10	13,4	11,0	10,9
11	16,9	11,2	11,1
12	17,3	11,2	11,1
13	16,7	11,2	11,1
14	15,6	11,2	11,1
15	15,7	11,2	11,1
16	15,8	11,2	11,1
17	14,7	11,1	11,0
18	12,8	10,9	10,8
19	11,3	10,9	10,7
20	10,4	10,8	10,7
21	9,2	10,8	10,7
22	9,0	10,8	10,7
23	10,7	10,8	10,7
24	12,3	10,9	10,8

10,7	10,6
10,9	10,8
11,2	11,1

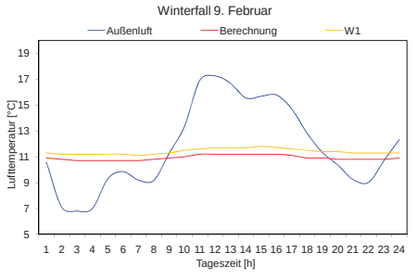


W1-Wärmedämmung Wände = 3cm WD, Isoliergläser = 6,12,6 mm) Holzrahmen

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	W1
1	10,6	10,9	11,3
2	7,1	10,8	11,2
3	6,8	10,7	11,2
4	7,0	10,7	11,2
5	9,3	10,7	11,2
6	9,9	10,7	11,2
7	9,2	10,7	11,1
8	9,2	10,8	11,2
9	11,3	10,9	11,3
10	13,4	11,0	11,5
11	16,9	11,2	11,6
12	17,3	11,2	11,7
13	16,7	11,2	11,7
14	15,6	11,2	11,7
15	15,7	11,2	11,8
16	15,8	11,2	11,7
17	14,7	11,1	11,6
18	12,8	10,9	11,5
19	11,3	10,9	11,4
20	10,4	10,8	11,4
21	9,2	10,8	11,3
22	9,0	10,8	11,3
23	10,7	10,8	11,3
24	12,3	10,9	11,3

10,7	11,1
10,9	11,4
11,2	11,8

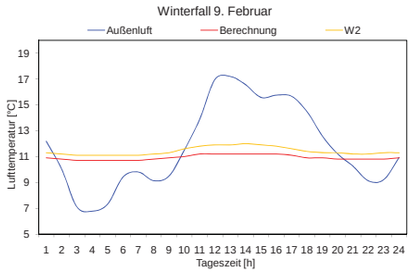


W2-Glasfläche S = 2,2066 m², Glasfläche N = 0,5448 m²

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	W2
1	12,2	10,9	11,3
2	10,0	10,8	11,2
3	7,1	10,7	11,1
4	6,8	10,7	11,1
5	7,3	10,7	11,1
6	9,4	10,7	11,1
7	9,8	10,7	11,1
8	9,1	10,8	11,2
9	9,5	10,9	11,3
10	11,5	11,0	11,6
11	13,9	11,2	11,8
12	17,0	11,2	11,9
13	17,2	11,2	11,9
14	16,6	11,2	12,0
15	15,6	11,2	11,9
16	15,8	11,2	11,8
17	15,7	11,1	11,6
18	14,5	10,9	11,4
19	12,6	10,9	11,3
20	11,2	10,8	11,3
21	10,3	10,8	11,2
22	9,1	10,8	11,2
23	9,2	10,8	11,3
24	10,9	10,9	11,3

10,7	11,1
10,9	11,4
11,2	12,0

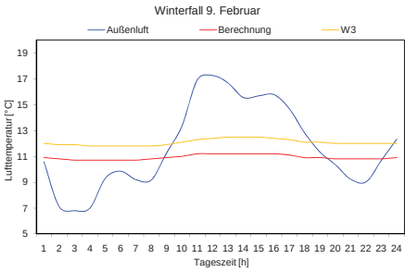


W3

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	W3
1	10,6	10,9	12,0
2	7,1	10,8	11,9
3	6,8	10,7	11,9
4	7,0	10,7	11,8
5	9,3	10,7	11,8
6	9,9	10,7	11,8
7	9,2	10,7	11,8
8	9,2	10,8	11,8
9	11,3	10,9	11,9
10	13,4	11,0	12,1
11	16,9	11,2	12,3
12	17,3	11,2	12,4
13	16,7	11,2	12,5
14	15,6	11,2	12,5
15	15,7	11,2	12,5
16	15,8	11,2	12,4
17	14,7	11,1	12,3
18	12,8	10,9	12,1
19	11,3	10,9	12,1
20	10,4	10,8	12,0
21	9,2	10,8	12,0
22	9,0	10,8	12,0
23	10,7	10,8	12,0
24	12,3	10,9	12,0

10,7	11,8
10,9	12,1
11,2	12,5



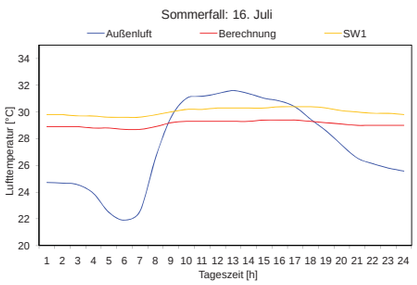
Jalousie (Gläser, Rahmen und Tür, Diff., direkt Durchl.= 0,27) 7h-20h
Sommerliche Nachtbelüftung (Max LWZ = 3 1/h) 20h-7h
Glasfläche S = 2,2066 m², Glasfläche N = 0,5448 m²
Wärmedämmung Wände = 3cm WD, Isoliergläser = 6,12,6 mm) Holzrahmen
Keine Verschattung

SW1-Wärmedämmung Wände = 3cm WD, Isoliergläser = 6,12,6 mm) Holzrahmen

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	SW1
1	24,7	28,9	29,8
2	24,7	28,9	29,8
3	24,6	28,9	29,7
4	23,9	28,8	29,7
5	22,5	28,8	29,6
6	21,9	28,7	29,6
7	22,6	28,7	29,6
8	26,6	28,9	29,8
9	29,6	29,2	30,0
10	31,0	29,3	30,2
11	31,2	29,3	30,2
12	31,4	29,3	30,3
13	31,6	29,3	30,3
14	31,4	29,3	30,3
15	31,0	29,4	30,3
16	30,8	29,4	30,4
17	30,4	29,4	30,4
18	29,5	29,3	30,4
19	28,6	29,2	30,3
20	27,5	29,1	30,1
21	26,6	29,0	30,0
22	26,1	29,0	29,9
23	25,8	29,0	29,9
24	25,6	29,0	29,8

28,7	29,6
29,1	30,0
29,4	30,4

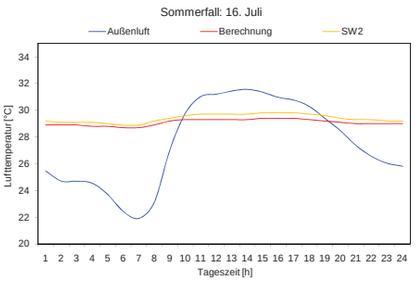


SW2-Glasfläche S = 2,2066 m², Glasfläche N = 0,5448 m²

Lufttemperatur

Tageszeit	Außenluft	Berechnung	SW2
1	25,5	28,9	29,2
2	24,7	28,9	29,1
3	24,7	28,9	29,1
4	24,5	28,8	29,1
5	23,7	28,8	29,0
6	22,4	28,7	28,9
7	21,9	28,7	28,9
8	23,1	28,9	29,2
9	27,0	29,2	29,4
10	29,8	29,3	29,6
11	31,0	29,3	29,7
12	31,2	29,3	29,7
13	31,4	29,3	29,7
14	31,6	29,3	29,7
15	31,3	29,4	29,8
16	31,0	29,4	29,8
17	30,8	29,4	29,8
18	30,3	29,3	29,7
19	29,4	29,2	29,6
20	28,5	29,1	29,4
21	27,4	29,0	29,3
22	26,6	29,0	29,3
23	26,0	29,0	29,2
24	25,8	29,0	29,2

28,7	28,9
29,1	29,4
29,4	29,8



Geometrie Wohntyp 1

Bauteil (m²)	Südfassade	Nordfassade	Westfassade	Ostfassade
Fensterglas	6,52	6,37	0,79	/

Bauteil	m²
Außenwand	46,47
Verbindung	5,16
Fensterrahmen	4,58
Außentür (Glas)	1,44
Fundamentplatte (wenn anwesend)	83,34

	m²
Fläche	83,34
Höhe	3,30
Volumen	275,02

Geometrie Wohnraum 1

Bauteil (m²)	Südfassade	Nordfassade	Westfassade	Ostfassade
Außenwand	10,79	9,26	/	/
Verbindungssteine	1,20	1,03	/	/
Fensterglas	3,26	4,53	/	/
Fensterrahmen	0,94	1,37	/	/

Bauteil	m²
Fundamentplatte (wenn anwesend	32,55
Innenwand	49,8
Innentür	1,68

	m²
Fläche	32,55
Höhe	3,30
Volumen	107,42

Geometrie Wohntyp 2

Bauteil (m²)	Südfassade	Nordfassade	Westfassade	Ostfassade
Fensterglas	0,79	/	11,41	1,58

Bauteil	m²
Außenwand	50,84
Verbindung	5,65
Fensterrahmen	4,36
Außentür	1,44
Dach (wenn anwesend)	87,69

	m²
Fläche	87,69
Höhe	3,30
Volumen	289,38

Geometrie Wohnraum 2

Bauteil (m²)	Südfassade	Nordfassade	Westfassade	Ostfassade
Außenwand	/	/	5,76	9,459
Verbindung	/	/	0,64	1,051
Fensterglas	/	/	4,89	1,58
Fensterrahmen	/	/	1,41	0,62

Bauteil	m²
Dach (wenn anwesend)	33,52
Innenwand	57,72
Innentür	1,68

	m²
Fläche	33,52
Höhe	3,30
Volumen	110,62

GEOMETRIE DER ZWEI ANALYSIERTEN WOHNTYPEN

Eigenschaften der verwendeten Materialien

	Baumaterial	Dichte [kg/m³]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	Spezifische Wärme [kJ/kg K]
1	Globigerina Sandstein "Franka"	1700	0,8	0,88
2	Betonhohlsteinmauerwerk	1200	0,55	1,13
3	Korkplatte	155	0,042	2,1
4	Außenputz	1600	0,8	1,13
5	Innenputz	1600	0,7	0,84
6	Stahlbeton	2400	2,3	1,13
7	Verkleinerter Sandstein "Torba"	1500	0,9	0,88
8	Magerbeton	2400	2,1	1,13
9	Estrichbeton	2000	1,4	1,13
10	Extrudiertes Polystyrol	20	0,041	1,4
11	Weiße Dachmembrane	1200	0,024	1,26
12	Dämmplatte	120	0,044	0,84

Eigenschaften der bauteilen

	Uw [W/m²K]	s	g
Zweischeiben-Isolierglas Klarglas 6-12-6	3,06	0,65	0,71

	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
Rahmen	1,44	0,53

V0	**Außenwand**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			7,690	0,130
1	Globigerina Sandsteinziegel	0,180	0,800	4,444	0,225
2	Luftschicht (ruhend)	0,040	0,222	5,550	0,180
3	Hohlblock-Betonziegel	0,180	0,550	3,056	0,327
4	Außenputz	0,015	0,800	53,333	0,019
	Außenluft			25	0,040
		0,415		**Uw**oberf.→oberf.	1,331
				Uw luft→luft	1,086

V1	**Außenwand**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			7,690	0,130
1	Globigerina Sandsteinziegel	0,180	0,800	4,444	0,225
2	Korkplatte	0,020	0,042	2,100	0,476
3	Luftschicht (Schwach belüftet)	0,020	0,229	11,450	0,087
4	Hohlblock-Betonziegel	0,180	0,550	3,056	0,327
5	Außenputz	0,015	0,800	53,333	0,019
	Außenluft			25	0,040
		0,415		**Uw**oberf.→oberf.	0,881
				Uw luft→luft	0,767

V2	**Außenwand**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			7,690	0,130
1	Globigerina Sandsteinziegel	0,180	0,800	4,444	0,225
2	Korkplatte	0,040	0,042	1,050	0,952
3	Hohlblock-Betonziegel	0,180	0,550	3,056	0,327
4	Außenputz	0,015	0,800	53,333	0,019
	Außenluft			25	0,040
		0,415		**Uw**oberf.→oberf.	0,656
				Uw luft→luft	0,591

V0	**Dach**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10,000	0,100
1	Innenputz	0,010	0,210	21,000	0,048
2	Stahlbeton	0,250	2,300	9,200	0,109
3	Verkleinerter Sandstein	0,050	0,900	18,000	0,056
4	Leichtbeton	0,050	1,400	28,000	0,036
	Außenluft			25,000	0,040
				Uwoberf.→oberf.	4,039
				Uw luft→luft	2,580

V1	**Dach**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10	0,100
1	Innenputz	0,01	0,21	21,000	0,048
2	Stahlbeton	0,25	2,3	9,200	0,109
3	Verkleinerter Sandstein	0,05	0,9	18,000	0,056
4	Leichtbeton	0,05	1,4	28,000	0,036
5	Weiße Dachmembrane	0,012	0,035	2,917	0,343
	Außenluft			25	0,040
				Uwoberf.→oberf.	4,039
				Uw luft→luft	1,369

V2	**Dach**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10	0,100
1	Innenputz	0,01	0,21	21,000	0,048
2	Stahlbeton	0,25	2,3	9,200	0,109
3	Verkleinerter Sandstein	0,05	0,9	18,000	0,056
4	EPS	0,08	0,04	0,500	2,000
5	Leichtbeton	0,05	1,4	28,000	0,036
	Außenluft			25	0,040
				Uwoberf.→oberf.	0,445
				Uw luft→luft	0,419

V3	**Dach**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10	0,100
1	Innenputz	0,01	0,21	21,000	0,048
2	Stahlbeton	0,25	2,3	9,200	0,109
3	Verkleinerter Sandstein	0,05	0,9	18,000	0,056
4	EPS	0,04	0,04	1,000	1,000
5	Leichtbeton	0,05	1,4	28,000	0,036
6	Weiße Dachmembrane	0,012	0,035	2,917	0,343
	Außenluft			25	0,040
				Uwoberf.→oberf.	0,802
				Uw luft→luft	0,578

V0	**Fundamentplatte**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10	0,100
1	Estrich	0,03	0,7	23,333	0,043
2	Estrichbeton	0,04	1,4	35,000	0,029
3	Stahlbeton	0,25	2,1	8,400	0,119
4	Magerbeton	0,05	2,1	42,000	0,024
	Außenluft			25	0,040

Uw oberf.→oberf.	4,667
Uw luft→luft	2,823

V1	**Fundamentplatte**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10	0,100
1	Estrich	0,03	0,7	23,333	0,043
2	Estrichbeton	0,04	1,4	35,000	0,029
3	Stahlbeton	0,25	2,1	8,400	0,119
4	Wärmedämmung	0,04	0,044	1,100	0,909
5	Magerbeton	0,05	2,1	42,000	0,024
	Außenluft			25	0,040

Uw oberf.→oberf.	0,890
Uw luft→luft	0,792

V2	**Fundamentplatte**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10	0,100
1	Estrich	0,03	0,7	23,333	0,043
2	Estrichbeton	0,04	1,4	35,000	0,029
3	Stahlbeton	0,25	2,1	8,400	0,119
4	Wärmedämmung	0,08	0,044	0,550	1,818
5	Magerbeton	0,05	2,1	42,000	0,024
	Außenluft			25	0,040

Uw oberf.→oberf.	0,492
Uw luft→luft	0,460

V3	**Fundamentplatte**	Dicke [m]	λ [W/mK]	Uw [W/m²K]	R [m²K/W]
	Innenluft			10	0,100
1	Estrich	0,03	0,7	23,333	0,043
2	Estrichbeton	0,04	1,4	35,000	0,029
3	Stahlbeton	0,25	2,1	8,400	0,119
4	Wärmedämmung	0,1	0,044	0,440	2,273
5	Magerbeton	0,05	2,1	42,000	0,024
	Außenluft			25	0,040

Uw oberf.→oberf.	0,402
Uw luft→luft	0,381

Verlauf der Innentemperaturen für die analysierten Massnahmen

1.1. Wohnraum 1-Wohnraum 2, 15.August

Tageszeit	Außenluft	Wohnraun 1	Wohnraum 2
1	26,5	28,9	29,7
2	25,8	28,7	29,5
3	25,2	28,5	29,4
4	24,7	28,4	29,2
5	24,3	28,3	29,1
6	24,1	28,2	29,0
7	24,0	28,1	28,9
8	25,0	28,4	29,3
9	26,9	28,7	29,7
10	28,9	28,9	29,8
11	30,6	29,1	30,0
12	32,0	29,2	30,1
13	32,9	29,3	30,2
14	33,6	29,4	30,3
15	33,9	29,5	30,3
16	34,0	29,5	30,4
17	33,9	29,6	30,6
18	33,5	29,6	30,7
19	32,8	29,7	30,7
20	31,8	29,7	30,7
21	30,7	29,7	30,6
22	29,5	29,5	30,4
23	28,4	29,3	30,1
24	27,4	29,0	29,9
	24,0	28,1	28,9
	29,2	29,1	29,9
	34,0	29,7	30,7

1.2.1. Oberflächentemperatur Wohnraum 1, 14.Februar

Tageszeit	Außenluft	Nordwand	Innenwand	Füßboden
1	10,7	18,0	19,2	19,0
2	10,4	18,0	19,1	18,9
3	10,0	17,9	19,0	18,8
4	9,8	17,9	19,0	18,8
5	9,6	17,8	18,9	18,7
6	9,4	17,8	18,8	18,6
7	9,3	17,7	18,8	18,6
8	9,4	17,7	18,7	18,5
9	10,4	17,7	18,7	18,6
10	11,7	17,8	18,9	18,8
11	12,9	18,0	19,0	19,3
12	13,8	18,2	19,3	19,8
13	14,4	18,4	19,5	20,2
14	14,7	18,6	19,6	20,6
15	14,8	18,7	19,8	20,8
16	14,8	18,7	19,9	20,8
17	14,6	18,6	19,8	20,6
18	14,3	18,5	19,7	20,3
19	13,9	18,4	19,6	19,9
20	13,4	18,3	19,6	19,7
21	12,8	18,2	19,5	19,5
22	12,2	18,2	19,4	19,4
23	11,7	18,1	19,3	19,2
24	11,2	18,1	19,3	19,1
	9,3	17,7	18,7	18,5
	12,1	18,1	19,3	19,4
	14,8	18,7	19,9	20,8

1.2.2. Oberflächentemperatur Wohnraum 2, 14.Februar

Tageszeit	Außenluft	Ostwand	Innenwand	Füßboden
1	10,7	16,7	17,6	17,5
2	10,4	16,7	17,5	17,4
3	10,0	16,7	17,5	17,3
4	9,8	16,6	17,4	17,3
5	9,6	16,6	17,4	17,2
6	9,4	16,6	17,3	17,2
7	9,3	16,5	17,3	17,2
8	9,4	16,5	17,3	17,1
9	10,4	16,5	17,3	17,1
10	11,7	16,5	17,3	17,2
11	12,9	16,6	17,4	17,4
12	13,8	16,7	17,5	17,5
13	14,4	16,7	17,5	17,6
14	14,7	16,7	17,6	17,7
15	14,8	16,8	17,6	17,8
16	14,8	17,0	17,8	18,2
17	14,6	17,1	18,0	18,6
18	14,3	17,1	18,0	18,6
19	13,9	17,0	17,9	18,3
20	13,4	16,9	17,8	18,1
21	12,8	16,9	17,8	17,9
22	12,2	16,9	17,8	17,8
23	11,7	16,8	17,7	17,7
24	11,2	16,8	17,6	17,6
	9,3	16,5	17,3	17,1
	12,1	16,7	17,6	17,6
	14,8	17,1	18,0	18,6

2.1. Außenwand: Lufttemperatur Wohnraum 2, 15.August

Tageszeit	Außenluft	AW,V0	AW,V1	AW,V2
1	26,5	29,7	29,7	29,8
2	25,8	29,5	29,6	29,6
3	25,2	29,4	29,4	29,4
4	24,7	29,2	29,2	29,3
5	24,3	29,1	29,1	29,1
6	24,1	29,0	29,0	29,0
7	24,0	28,9	29,0	29,0
8	25,0	29,3	29,3	29,3
9	26,9	29,7	29,7	29,7
10	28,9	29,8	29,9	29,9
11	30,6	30,0	30,0	30,0
12	32,0	30,1	30,1	30,2
13	32,9	30,2	30,2	30,2
14	33,6	30,3	30,3	30,3
15	33,9	30,3	30,4	30,4
16	34,0	30,5	30,5	30,5
17	33,9	30,6	30,6	30,7
18	33,5	30,7	30,8	30,8
19	32,8	30,7	30,8	30,8
20	31,8	30,7	30,7	30,7
21	30,7	30,6	30,7	30,7
22	29,5	30,4	30,5	30,5
23	28,4	30,1	30,2	30,2
24	27,4	29,9	29,9	30,0

24,0	28,9	29,0	29,0
29,2	29,9	30,0	30,0
34,0	30,7	30,8	30,8

2.2. Außenwand: Oberflächentemperatur Wohnraum 2, 14.Februar

Tageszeit	Außenluft	OW, V0	OW, V1	OW, V2
1	10,7	16,7	17,6	18,2
2	10,4	16,7	17,5	18,1
3	10,0	16,7	17,5	18,1
4	9,8	16,6	17,4	18,1
5	9,6	16,6	17,4	18,0
6	9,4	16,6	17,4	18,0
7	9,3	16,5	17,3	18,0
8	9,4	16,5	17,3	17,9
9	10,4	16,5	17,3	18,0
10	11,7	16,5	17,4	18,0
11	12,9	16,6	17,5	18,1
12	13,8	16,7	17,5	18,2
13	14,4	16,7	17,6	18,2
14	14,7	16,7	17,6	18,3
15	14,8	16,8	17,7	18,3
16	14,8	17,0	17,8	18,5
17	14,6	17,1	18,0	18,6
18	14,3	17,1	17,9	18,6
19	13,9	17,0	17,8	18,5
20	13,4	16,9	17,8	18,4
21	12,8	16,9	17,7	18,4
22	12,2	16,9	17,7	18,3
23	11,7	16,8	17,6	18,3
24	11,2	16,8	17,6	18,2

9,3	16,5	17,3	17,9
12,1	16,7	17,6	18,2

3.1. Dach: Lufttemperatur Wohnraum 2, 15.August

Tageszeit	Außenluft	Dach, V0	Dach, V1	Dach, V2	Dach, V3
1	26,5	29,9	28,9	29,2	28,9
2	25,8	29,7	28,7	29,0	28,7
3	25,2	29,5	28,6	28,8	28,6
4	24,7	29,4	28,4	28,7	28,4
5	24,3	29,2	28,3	28,6	28,3
6	24,1	29,0	28,2	28,5	28,2
7	24,0	29,0	28,2	28,4	28,2
8	25,0	29,2	28,5	28,7	28,5
9	26,9	29,5	28,8	29,0	28,7
10	28,9	29,6	28,9	29,2	28,9
11	30,6	29,7	29,1	29,3	29,1
12	32,0	29,8	29,2	29,5	29,2
13	32,9	29,9	29,3	29,6	29,3
14	33,6	30,0	29,4	29,7	29,4
15	33,9	30,1	29,5	29,7	29,5
16	34,0	30,2	29,5	29,8	29,5
17	33,9	30,3	29,5	29,8	29,6
18	33,5	30,4	29,6	29,9	29,6
19	32,8	30,5	29,7	30,0	29,7
20	31,8	30,6	29,7	30,0	29,7
21	30,7	30,6	29,6	29,9	29,6
22	29,5	30,5	29,5	29,8	29,5
23	28,4	30,3	29,3	29,5	29,3
24	27,4	30,1	29,1	29,3	29,1

24,0	29,0	28,2	28,4	28,2
29,2	29,9	29,1	29,3	29,1
34,0	30,6	29,7	30,0	29,7

3.2. Dach: Oberflächentemperatur Wohnraum 2, 14.Februar

Tageszeit	Außenluft	Dach, V0	Dach, V1	Dach, V2	Dach, V3
1	10,7	13,0	15,7	17,1	17,1
2	10,4	12,9	15,7	17,0	17,1
3	10,0	12,8	15,7	17,0	17,0
4	9,8	12,8	15,6	17,0	17,0
5	9,6	12,6	15,6	16,9	17,0
6	9,4	12,5	15,6	16,9	16,9
7	9,3	12,4	15,5	16,9	16,9
8	9,4	12,3	15,5	16,8	16,9
9	10,4	12,2	15,5	16,8	16,9
10	11,7	12,2	15,5	16,9	16,9
11	12,9	12,2	15,6	17,0	17,0
12	13,8	12,3	15,7	17,1	17,2
13	14,4	12,3	15,8	17,2	17,3
14	14,7	12,4	15,9	17,3	17,4
15	14,8	12,6	16,0	17,3	17,4
16	14,8	12,7	16,0	17,4	17,5
17	14,6	12,8	16,0	17,4	17,4
18	14,3	12,9	16,0	17,3	17,4
19	13,9	13,0	15,9	17,3	17,3
20	13,4	13,1	15,9	17,2	17,3
21	12,8	13,1	15,9	17,2	17,3
22	12,2	13,1	15,8	17,2	17,2
23	11,7	13,1	15,8	17,1	17,2
24	11,2	13,1	15,8	17,1	17,1

9,3	12,2	15,5	16,8	16,9
12,1	12,7	15,7	17,1	17,2
14,8	13,1	16,0	17,4	17,5

4.1. Bodenplatte: Lufttemperatur Wohnraum 1, 15.August

Tageszeit	Außenluft	Füßb., V0	Füßb., V1	Füßb., V2	Füßb., V3
1	26,5	29,4	29,5	29,6	29,6
2	25,8	29,3	29,4	29,4	29,4
3	25,2	29,1	29,2	29,3	29,3
4	24,7	29,0	29,1	29,1	29,2
5	24,3	28,9	29,0	29,0	29,0
6	24,1	28,8	28,9	28,9	28,9
7	24,0	28,8	28,9	28,9	28,9
8	25,0	29,1	29,2	29,3	29,3
9	26,9	29,5	29,6	29,6	29,7
10	28,9	29,6	29,7	29,8	29,8
11	30,6	29,8	29,9	29,9	29,9
12	32,0	29,9	30,0	30,0	30,0
13	32,9	29,9	30,0	30,1	30,1
14	33,6	30,0	30,1	30,1	30,2
15	33,9	30,0	30,1	30,2	30,2
16	34,0	30,1	30,3	30,3	30,3
17	33,9	30,3	30,4	30,4	30,5
18	33,5	30,4	30,5	30,5	30,6
19	32,8	30,4	30,5	30,5	30,6
20	31,8	30,3	30,4	30,5	30,5
21	30,7	30,2	30,4	30,4	30,4
22	29,5	30,1	30,2	30,3	30,3
23	28,4	29,8	29,9	30,0	30,0
24	27,4	29,6	29,7	29,8	29,8

24,0	28,8	28,9	28,9	28,9
29,2	29,7	29,8	29,8	29,9
34,0	30,4	30,5	30,5	30,6

4.1. Bodenplatte: Lufttemperatur Wohnraum 1, 15.August

Tageszeit	Außenluft	Füßb., V0	Füßb., V1	Füßb., V2	Füßb., V3
1	26,5	29,4	29,5	29,6	29,6
2	25,8	29,3	29,4	29,4	29,4
3	25,2	29,1	29,2	29,3	29,3
4	24,7	29,0	29,1	29,1	29,2
5	24,3	28,9	29,0	29,0	29,0
6	24,1	28,8	28,9	28,9	28,9
7	24,0	28,8	28,9	28,9	28,9
8	25,0	29,1	29,2	29,3	29,3
9	26,9	29,5	29,6	29,6	29,7
10	28,9	29,6	29,7	29,8	29,8
11	30,6	29,8	29,9	29,9	29,9
12	32,0	29,9	30,0	30,0	30,0
13	32,9	29,9	30,0	30,1	30,1
14	33,6	30,0	30,1	30,1	30,2
15	33,9	30,0	30,1	30,2	30,2
16	34,0	30,1	30,3	30,3	30,3
17	33,9	30,3	30,4	30,4	30,5
18	33,5	30,4	30,5	30,5	30,6
19	32,8	30,4	30,5	30,5	30,6
20	31,8	30,3	30,4	30,5	30,5
21	30,7	30,2	30,4	30,4	30,4
22	29,5	30,1	30,2	30,3	30,3
23	28,4	29,8	29,9	30,0	30,0
24	27,4	29,6	29,7	29,8	29,8

24,0	28,8	28,9	28,9	28,9
29,2	29,7	29,8	29,8	29,9
34,0	30,4	30,5	30,5	30,6

5. Nachtlüftung: Lufttemperatur Wohnraum 1

Tageszeit	Außenluft	V0	V1
1	26,5	31,3	28,9
2	25,8	31,3	28,7
3	25,2	31,2	28,5
4	24,7	31,1	28,4
5	24,3	31,1	28,3
6	24,1	31,0	28,2
7	24,0	31,1	28,1
8	25,0	31,1	28,4
9	26,9	31,2	28,7
10	28,9	31,3	28,9
11	30,6	31,4	29,1
12	32,0	31,5	29,2
13	32,9	31,6	29,3
14	33,6	31,7	29,4
15	33,9	31,7	29,5
16	34,0	31,7	29,5
17	33,9	31,8	29,6
18	33,5	31,8	29,6
19	32,8	31,8	29,7
20	31,8	31,8	29,7
21	30,7	31,7	29,7
22	29,5	31,6	29,5
23	28,4	31,5	29,3
24	27,4	31,4	29,0

24,0	31,0	28,1
29,2	31,4	29,1
34,0	31,8	29,7