

# Sporthalle der Zukunft in Puconci

Konzept für eine energieeffiziente Sporthalle

Anregung für den nachfolgenden Architektenwettbewerb

Auftraggeber: **Gemeinde Puconci, Slowenien**

Auftragnehmer: **Institut für Gebäude und Energie**

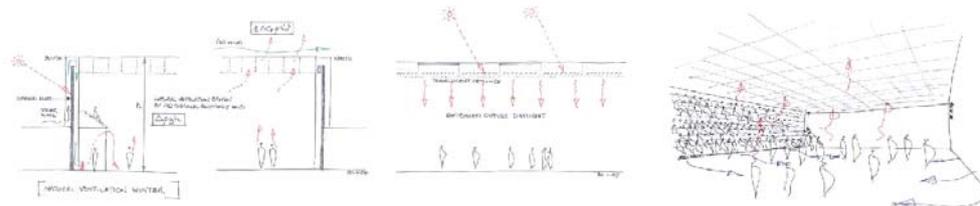
TU-Graz  
Vorstand Univ.-Prof. Brian Cody

Rechbauerstraße 12  
8010 Graz

Projektnummer: 159\_D0701  
Projektleitung: DI Andreas Ampenberger  
Projektanten: DI Robert Smodis

Ingomar Platzer  
Andreas Karitnig

Datum: 05.12.2007



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>PROJEKTAUFGABE</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RECHERCHEN ZUM THEMA „SPORTHALLE“</b>	<b>2</b>
2.1	<b>Stand der Technik</b>	<b>2</b>
2.1.1	Gebäudeform	2
2.1.2	Gebäudehülle	2
2.1.3	Konstruktion	3
2.1.4	Innenbauteile	3
2.1.5	Lüftung	3
2.1.6	Heizung	3
2.1.7	Kühlung	4
2.1.8	Lichtkonzept	4
2.1.9	Wassermanagement	4
2.1.10	Energiekonzept	4
2.2	<b>Stand der energieeffizienten Technik</b>	<b>5</b>
2.2.1	Gebäudeform	5
2.2.2	Lüftung	5
2.2.3	Heizen	6
2.2.4	Kühlen	6
2.2.5	Lichtkonzept	7
2.2.6	Wassermanagement	7
2.2.7	Energieversorgung	8
2.2.8	Materialien	8
2.2.9	Kosten, Einsparung, Return Of Investment ROI	9
2.3	<b>Stand der Forschung</b>	<b>9</b>
2.3.1	Gebäudeform	9
2.3.2	Lüftung	10
2.3.3	Heizen	10
2.3.4	Lichtkonzept	10
2.3.5	Solare Wandsysteme	13
2.3.6	Dämmsysteme	15
2.3.7	Graue Energie	15
2.4	<b>Typologie Dreifeldsporthalle</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>CASE STUDIES</b>	<b>17</b>
3.1	<b>„Öko-Turnhalle“, Mäder (AUT) [25]</b>	<b>17</b>
3.1.1	Energiekonzept	18
3.2	<b>Sporthalle Odenwaldschule, Oberhambach [26]</b>	<b>18</b>
3.2.1	Energiekonzept	19
3.3	<b>Dammbühlhalle, Wängi (CH) [3]</b>	<b>20</b>
3.3.1	Energiekonzept	20
3.4	<b>Sporthalle, Dallgow-Döberitz (DE) [3],[25]</b>	<b>21</b>
3.4.1	Energiekonzept	22
3.5	<b>Bioclimatic Sports Centre, Wageningen (NL) [27]</b>	<b>23</b>
3.5.1	Energiekonzept	24
3.6	<b>Passivhaus-Turnhalle, Heidelberg-Kirchheim (DE) [3]</b>	<b>24</b>
3.6.1	Energiekonzept	25
3.7	<b>Passivhaus-Turnhalle, Neuberend (DE) [3],[28]</b>	<b>26</b>
3.7.1	Energiekonzept	26
3.8	<b>Konzept / Sporthalle Raspoforum, Coesfeld (DE) [3]</b>	<b>27</b>
3.8.1	Energiekonzept	28

<b>4</b>	<b>GRUNDLEGENDE ANALYSEN .....</b>	<b>29</b>
4.1	<b>Grundstücksanalyse.....</b>	<b>29</b>
4.1.1	Gemeinde- und Ortsbeschreibung.....	29
4.1.2	Lage (Standortsituation) .....	29
4.1.3	Geographische Daten .....	29
4.1.4	Umgebung (Bebauung, Flächennutzung, Widmung).....	30
4.1.5	Wirtschaft.....	30
4.1.6	Verkehrssituation (Straßen, Verkehr, Parkplätze).....	31
4.1.7	Fußgänger- und Fahrradverkehr .....	31
4.1.8	Bauparzellen für die Errichtung der 3-Feld Sporthalle .....	31
4.1.9	Energieversorgung (derzeitige Versorgung).....	32
4.1.10	Wasserversorgung.....	33
4.1.11	Telekommunikation .....	33
4.1.12	Lärm .....	33
4.1.13	Geologische Daten.....	33
4.1.14	Brandschutz und Feuerwehzufahrt.....	33
4.1.15	Versorgungsmöglichkeiten .....	34
4.2	<b>Analyse des Aussenklimas.....</b>	<b>34</b>
4.2.1	Vergleich von Testreferenzjahr und gemessenen Klimadaten.....	36
4.3	<b>Potential regenerativer Energien.....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN DIE SPORTHALLE IN PUCONCI .....</b>	<b>46</b>
5.1	<b>Planungsziel Sporthalle Puconci.....</b>	<b>46</b>
5.1.1	Gebäudeform.....	46
5.1.2	Bedarfsermittlung.....	48
5.2	<b>Konstruktion.....</b>	<b>49</b>
5.2.1	Sportboden.....	49
5.2.2	Prallwand.....	50
5.2.3	Fenster in Sporthallen .....	50
5.2.4	Hallenabtrennung .....	50
5.2.5	Decke .....	51
5.2.6	Tribüne .....	51
5.2.7	Geräte .....	51
5.2.8	Kletterwand .....	51
5.2.9	Einrichtungen .....	51
5.2.10	Wärmeschutz.....	51
5.2.11	Brandschutz.....	51
5.3	<b>Anforderungen an das Raumklima einer Sporthalle.....</b>	<b>52</b>
5.3.1	Lüftung .....	52
5.3.2	Heizen .....	52
5.3.3	Licht.....	52
5.3.4	Wasser.....	53
5.3.5	Sonstiges.....	53
5.4	<b>Raumbuch.....</b>	<b>54</b>
5.4.1	Raumprogramm .....	62
5.4.2	Interaktionsschema.....	63
5.5	<b>Nutzungszeiten, -profile und –szenarien.....</b>	<b>64</b>
5.5.1	Nutzungsprofile der erwarteten Nutzergruppen .....	64
5.5.2	Nutzungszeiten – Simulation der Hallennutzung.....	67
5.5.3	Wärmeeintrag durch Personen .....	71
5.5.4	Wärmeeintrag Geräte und Sonstiges .....	75
<b>6</b>	<b>UNTERSUCHUNGSMETHODE/ VORGEHENSWEISE .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>VIRTUELLES MODELL.....</b>	<b>78</b>

<b>8</b>	<b>AUSGANGSMODELL .....</b>	<b>84</b>
8.1	<b>Bauteile .....</b>	<b>84</b>
8.2	<b>Lüftung .....</b>	<b>85</b>
8.3	<b>Innere Lasten .....</b>	<b>86</b>
8.4	<b>Heizen und Kühlen .....</b>	<b>88</b>
8.5	<b>Warmwasserbereitung .....</b>	<b>88</b>
8.6	<b>Simulationsergebnisse .....</b>	<b>89</b>
<b>9</b>	<b>UNTERSUCHUNGSREIHEN .....</b>	<b>92</b>
9.1	<b>Situierung .....</b>	<b>92</b>
9.1.1	Drehung .....	92
9.1.2	Abgesenkte Bauform .....	92
9.2	<b>Gebäudehülle – Wärmedämmung und Dichtigkeit .....</b>	<b>94</b>
9.2.1	Wärmedämmung .....	94
9.2.2	Herstellungenergie .....	95
9.2.3	Dichtigkeit .....	96
9.3	<b>Tageslichtnutzung .....</b>	<b>98</b>
9.3.1	Analyse der Ausgangsvariante .....	98
9.3.2	Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle .....	102
9.3.3	Optimierung der Halle .....	103
9.4	<b>Lüftung .....</b>	<b>108</b>
9.4.1	Bewertung von Lüftungsvarianten .....	108
9.4.2	Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle .....	111
9.4.3	Optimierung der Halle .....	112
<b>10</b>	<b>ENDVARIANTE .....</b>	<b>113</b>
10.1	<b>Tageslichtoptimierung .....</b>	<b>113</b>
10.2	<b>Lüftungsoptimierung .....</b>	<b>114</b>
10.2.1	Konzept Halle .....	114
10.2.2	CFD-Analyse der Halle .....	117
10.2.3	Konzept der Trakte mit Studio und Tischtennishalle .....	120
10.2.4	Strategie bei Großveranstaltungen .....	120
10.2.5	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	121
10.3	<b>Systeme zum Heizen und Kühlen .....</b>	<b>123</b>
10.3.1	Beheizung der Halle .....	123
10.3.2	Beheizung der Trakte .....	124
10.3.3	Kühlung der Halle .....	125
10.3.4	Kühlung der Trakte .....	126
10.3.5	Luftfeuchtigkeitsregulierung .....	127
10.4	<b>Abdeckung des Energiebedarfs .....</b>	<b>128</b>
10.4.1	Lastganganalyse .....	129
10.4.2	Möglichkeiten der Energieversorgung .....	131
10.5	<b>Weitere Potenziale und Hinweise .....</b>	<b>136</b>
10.5.1	Entwicklungspotenzial der Lichtdecke .....	136
10.5.2	Entwicklungspotenzial der Lüftung .....	137
10.5.3	Entwicklungspotenzial Heizung .....	137
10.5.4	Nutzungsszenarien .....	138
<b>11</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>139</b>
<b>12</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>143</b>
<b>13</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>148</b>

# 1 PROJEKTAUFGABE

Die Gemeinde Puconci im Nordosten Sloweniens plant den Ersatz ihrer Schulsporthalle und deren Freisportfeld durch eine moderne und energieeffiziente Dreifachsporthalle. Neben dem Sportunterricht an der Schule soll die neue Anlage auch als regionales Sportzentrum für die zahlreichen dort betriebenen Sportarten in der Gemeinde dienen.

Das Institut für Gebäude und Energie an der TU Graz wurde beauftragt im Rahmen einer Pilotstudie zu untersuchen, wie eine energieeffiziente Sportstätte der Zukunft im 21. Jahrhundert am Standort Puconci konzeptionell aussehen kann. Für den nachfolgenden Architektenwettbewerb soll die Studie als Planungshilfe für einen energetisch optimierten Entwurf und als Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger dienen.

Im Projekt werden energetisch erfolgversprechende Varianten verglichen und aufgrund der Ergebnisse wesentliche Merkmale (z.B. Konstruktion und Form und deren Einfluss auf das Lüftungskonzept) optimiert. Schwerpunkt der Untersuchungen bildet die Optimierung des Energiebedarfs im Betrieb, bei Beeinflussung des Energiebedarfs für die Herstellung des Gebäudes wird dieser auch betrachtet.

Wesentliche Anforderung ist auch, dass beachtet wird, wie sich Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz auf die Qualität des Raumklimas auswirken. Der thermische Komfort soll für jede Sportart und Nutzergruppe optimal sein. Eine Bewertung der Gesamtenergieeffizienz erfolgt durch die Ermittlung des Energiebedarfs bei Beachtung von Behaglichkeitskriterien.

Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, nicht die angestrebte hohe architektonische Qualität des Gebäudes durch rigide und unflexible Vorgaben zu behindern. Dennoch sollen für den Wettbewerb gewisse Vorgaben als Planungshilfen bereits in der Auslobung ihren Platz finden.

## 2 RECHERCHEN ZUM THEMA „SPORTHALLE“

### 2.1 STAND DER TECHNIK

Sporthallen sind funktionsdominierte Bauwerke. Pragmatische Gründe, wie der dringende Raumbedarf durch Schulen oder Sportvereine sind ausschlaggebend für die Errichtung von Sporthallen. Schulsporthallen mit zeitweiliger Vereinssportnutzung unterscheiden sich deutlich von Hallen, welche ausschließlich von einem Sportverein genutzt werden. Durch eine private Projektträgerseite und die genaue Abstimmung auf eine Sportart lassen sich individuelle Konzepte realisieren. Bei öffentlichen Bauten verhindern bürokratische Zwänge wie Standardisierung der Nutzung und des Raumprogramms oft neue Lösungsansätze. Andererseits beherbergen gerade Architektenwettbewerbe im öffentlichen Bereich Potenzial für Innovationen.

In der Planung zeigt sich wieder der Unterschied von öffentlichen Hallen zu Vereinshallen. Wettbewerbe werden bei öffentlichen Projekten deutlich öfter durchgeführt und sind teilweise sogar vorgeschrieben. Private Vereine mit meist geringeren finanziellen Mitteln greifen oft auf Planer zurück, die sich auf das Projektieren von Sporthallen in Normgrößen spezialisiert haben. Dieser Trend hilft einerseits Errichtungskosten zu sparen, führt andererseits aber zu einer monotonen Sporthallentypologie. Das individuelle Einsparungspotenzial bei den Betriebskosten durch energieeffiziente Planung ist somit oft fraglich.

#### 2.1.1 Gebäudeform

Die Gebäudeform von Sporthallen wird maßgeblich durch die Sportflächen bestimmt. Die in den Normen vorgegebenen Feldgrößen und lichten Höhen beziehen sich auf die jeweiligen Sportarten. Der Anteil von Nebenräumen schwankt sehr stark durch die unterschiedliche Nutzung (Schulturnhalle, Vereinssporthalle mit Vereinssitz, etc...). Bei einer klassischen Halle mit Umkleiden, Waschräumen, Geräteräumen und ein paar Aufenthaltsräumen für Personal, ergibt sich eine Standardform, bei der die Nebenräume in einem Block an der Längsseite der Halle situiert sind. Die Umkleiden dienen als Durchgangsraum von außen in die Halle. Umkleiden und Waschräume sind daher meist innen liegend angeordnet, ohne direkte Lüftungs- und Belichtungsmöglichkeit. Geräteräume sind aus organisatorischen Gründen direkt an der Hallenwand angeordnet.

Ein häufig auftretendes Problem ist die Hallenhöhe in Bezug auf umliegende Gebäudehöhen. Diesem Umstand wird meist durch ein teilweises Versenken der Halle im Untergrund entgegnet. Durch die nutzungsbedingten Innenhöhen ist ein Abstufen der Halle oft nicht möglich.

#### 2.1.2 Gebäudehülle

Die Gebäudehülle ist ein Beispiel für regionale Besonderheiten. Von den Oberflächen abgesehen, welche Ausdruck der Architektur und des persönlichen Geschmacks der Beteiligten sind, ist die darunter liegende Konstruktion sehr verschieden. Hier gibt es vorwiegend Massivbauten aus Stahlbeton und Mauerwerk. In den letzten Jahrzehnten hat sich die industrielle Bauweise mit Leichtelementen aus Metallkassetten bei sehr kostengünstigen Sporthallen durchgesetzt. Dieses System hat sich durch eine ständige Verbesserung und Modularität, der bauphysikalische Eigenschaften von seinem „Billigimage“ gelöst. Durch die verkürzte Bauzeit wird eine Kostensenkung ermöglicht.

### 2.1.3 Konstruktion

Die Dachkonstruktion von Sporthallen wird durch die großen Spannweiten der Sportflächen bestimmt. Der Kostendruck führt in vielen Fällen zu einer thermisch einfachen Lösung. Am häufigsten werden Stahlfachwerke oder Holzleimbinder eingesetzt. In der Schweiz findet man auch öfter Stahlbetonrippen als Hallendach vor. Auf Grund der Dachträger ergibt sich die Notwendigkeit von lastabtragenden Stützen. Wenige Hallentypen werden mit einem Netzwerk an gekrümmten Trägern überspannt. Dieser flächige Tragwerkstyp hat, ähnlich einer Schale, lineare Auflager in Form von Stahlbetonwänden.

Die Art der Fundamentierung von Sporthallen wird ähnlich der Dachkonstruktion rein aus statischen Überlegungen gewählt. Dabei gelten der Untergrund und die einzutragenden Lasten als wichtigste Parameter.

### 2.1.4 Innenbauteile

Innenwände werden in den meisten Fällen massiv errichtet, wobei der Trend zu einer Mischbauweise von massiven Elementen und Leichtbauwänden geht. Ein wichtiger Punkt ist die schalltechnische Trennung von Nebenräumen wie Umkleiden und Waschräumen untereinander, und von den Hallen.

Der konstruktive Aufbau von Sportböden ist ein Kompromiss aus den unterschiedlichen Anforderungen einzelner Sportarten an die Elastizität und Oberflächengüte. Die richtige Entscheidung trifft man durch Bewertung der geplanten Nutzungen im Abgleich mit den geltenden Normen.

### 2.1.5 Lüftung

Das Standardmodell der Lüftung ist eine Raumlufthechnische Anlage (RLT), die über eine Technikzentrale die Außenluft ansaugt und konditioniert an den Raum weitergibt. Die meisten Hallen besitzen zwei getrennte Systeme. Ein System versorgt die Nebenräume wie Umkleiden und Waschräume etc., das andere die Halle. Bei Hallen mit zeitweilig höheren Personenzahlen durch Turniere oder andere Veranstaltungen wird oft ein drittes System installiert, das in diesen Fällen die primären Systeme unterstützt. Ein wichtiger Vorteil der RLT ist der Komfort durch die Gewährleistung einer konstanten Luftqualität und die Kombinierbarkeit mit einer Brandschutzeinrichtung (RWA), die einen erhöhten Aufwand durch baulichen Brandschutz ersetzt. Selten gibt es keine RLT, sondern nur Ventilatoren in den Außenbauteilen. Dieser Anlagentyp ist weitestgehend veraltet und wird nur bei sehr kostengünstigen Projekten noch verwendet. In der Literatur finden sich Angaben zum nötigen Luftwechsel, der sich auf die Norm DIN 18032 bezieht. Der Energieverbrauch wurde nicht angeführt.

### 2.1.6 Heizung

Die Beheizung der Hallen erfolgt zum Teil über die RLT-Anlage und über ein statisches System bzw. Deckenstrahlerplatten. Statische Heizsysteme, wie Fußbodenheizungen werden in Nebenräumen, vor allem in den Waschräumen eingesetzt. Vermehrt wird auch in den Hallenböden eine Heizung integriert, die aber im Vergleich mit konventionellen Fußbodenheizungen auf Grund des dämmenden Fußbodenaufbaus mit einer höheren Vorlauftemperatur betrieben werden muss. Vorteil dieser Heizung ist die ideale Temperaturverteilung und dadurch ein geringes Aufwirbeln von Staub.

Eine Alternative zu den statischen Systemen ist die Deckenstrahler-Heizung. Diese von der Decke abgehängten Platten werden über hohe Wasservorlauftemperaturen oder direkt über die Verbrennung von Erdgas betrieben. Der Vorteil dieser Systeme liegt in dem hohen Strahlungsanteil der abgegebenen Energie. Strahlungsenergie wird direkt

auf der bestrahlten Fläche in Wärme umgewandelt wodurch eine höhere empfundene Temperatur erreicht wird. Deckenstrahler werden dort eingesetzt, wo eine schnelle Reaktionszeit der Heizung auf Grund wechselnden Heizwärmebedarfs erforderlich ist. Energieverbrauchsangaben in der Literatur beziehen sich immer auf Jahresbilanzen ohne Angaben der Temperaturen oder der beheizten Flächen.

#### 2.1.7 Kühlung

Zur Kühlung von Sporthallen gibt es in den Regelfällen keine genauen Angaben. Der Bedarf an Kühlung ist auf Grund der geringeren Nutzung in den Sommermonaten nicht gegeben. Die geringe Auslastung ergibt sich bei Schulturnhallen durch die Ferienzeit und bei Vereinssportarten durch das Auslagern der Aktivitäten ins Freie. Eine Kühlung durch eine Standard RLT- Anlage ist sehr kosten- und energieintensiv.

Sommerlicher Wärmeschutz ist in klassischen Hallen selten vorhanden. Nebenräume sind meist innen liegend und Aufenthaltsräume für Sportlehrer stellen auf Grund der geringfügigen Nutzung keine besonderen Anforderungen. Bei Aufenthaltsräumen, die ständig genutzt werden, wie Vereinsräume, gelten die Maßnahmen für konventionelle Aufenthaltsräume. Das bedeutet eine individuell nach Nutzerbedürfnis ausgelegte Verschattung und im Sonderfall eine mobile Kleinklimaanlage.

#### 2.1.8 Lichtkonzept

Das Lichtkonzept der Sporthallen bezieht sich immer zu einem großen Teil auf Tageslicht. Es scheint der Fall zu sein, dass der Naturbezug zu Wetter und Umgebung ein wichtiges Qualitätsmerkmal einer Sportstätte darstellt. In der Recherche wurde kein einziges Beispiel gefunden, das ausschließlich künstlich belichtet wurde. In der Regel waren die Außenbauteile zu etwa einem Viertel lichtdurchlässig. Die konventionelle Sporthalle besitzt Oberlichtbänder und zusätzlich bei Mehrfeldhallen noch Lichtkuppel oder Shed-Oberlichten um auch tiefe Räume ausleuchten zu können. Bei vielen Projekten wurde auf das Problem der Blendung und des störenden scharfen Lichteinfalls auf dem Boden nicht eingegangen. Bei einigen Hallen werden lichtstreuende Folien auf den problematischen Glasflächen verwendet oder sie werden hauptsächlich aus Norden belichtet.

#### 2.1.9 Wassermanagement

Ein Wasserkonzept ist abhängig von der geographischen Lage und ist bei etwa einem Drittel der Sporthallen vorhanden. In der Regel beschränkt sich das Wassermanagement auf die Verwendung von wassersparenden Armaturen. Zur Einsparung der Entsorgungskosten oder aus Sicht des Hochwasserschutzes wird das Regenwasser direkt versickert. Versiegelung von Flächen und das Absinken des Grundwasserspiegels stellen eine bekannte Problematik dar.

#### 2.1.10 Energiekonzept

Energiekonzepte finden sich in der Regel nicht in ausgereifter Form vor. Die Planung über den Energiebedarf findet erst in der technischen Ausführungsplanung statt und ist lediglich eine Reaktion auf das geplante Gebäude und eine standardisiert angenommene Nutzung. Bei etwa einem Drittel der verglichenen Projekte gibt es Angaben zur Energieversorgung in Bezug auf regenerative Energiequellen. Ein System, das mittlerweile zum Stand der Technik gezählt werden kann ist der Solarkollektor zur Warmwasserbereitung (WWB). Dieses System wird unterstützend zu einer konventionellen WWB eingesetzt. Hauptgrund für die zusätzliche Erwärmung des Warmwassers mittels konventionellen Systemen ist das geforderte Temperaturniveau von 60°C zur Legionellen-Vorbeugung. Standard-Solarkollektoren können diese hohe Temperatur nicht immer verlässlich erreichen.

Brennwertkessel mit einer teilweisen Mitnutzung der Abgaswärme stehen seit Jahren im Betrieb und sind ebenfalls Stand der Technik zur Energieversorgung. Ihr höherer Wirkungsgrad ist ein klares Argument zur direkten Energieeinsparung und Betriebskostenreduktion.

## 2.2 STAND DER ENERGIEEFFIZIENTEN TECHNIK

Energieeffizientes Bauen ist in der heutigen Zeit von der Ausnahme zur Regel geworden. Daher bildet es in seiner bereits mehrfach angewandten Form ein eigenes Kapitel zwischen dem Stand der Technik und dem Stand der Forschung. Grundvoraussetzung der Energieeinsparung ist es Verluste zu minimieren. Dies wird über eine bessere Performance der Gebäudehülle erreicht. Die zwei wichtigsten Kriterien sind die Dämmung und die Strömungsdichtheit. Die notwendige hohe Qualität der Ausführung stellt das größte Problem in der Erreichung der Einsparung dar. Eine genaue Abschätzung der zu erwartenden Mehrkosten und Betriebskostenreduktion ist mangels Vergleichbarkeit schwierig.

Die Planung eines energieeffizienten Gebäudes bedarf einer fachübergreifenden Zusammenarbeit der an der Planung Beteiligten. Anders als bei konventioneller Planung wird der, den Energieverbrauch betreffender Teil der Gebäudetechnik schon in der Anfangsphase der Planung eingebunden. Nur dadurch ist es möglich die komplexen Anforderungen, die eine solche Aufgabe mit sich bringt, zu bewältigen. In der Regel werden heute gut ausgebildete Spezialisten zur Beratung herangezogen. In seltenen Fällen werden Energieingenieure oder wissenschaftliche Institute eingebunden. Ziel dieser Zusammenarbeit ist es im Idealfall, vom Entwurf des Gebäudes an, die Energiebilanz im Auge zu behalten. Ein interdisziplinäres Denken ist von jedem Beteiligten gefordert.

### 2.2.1 Gebäudeform

Das fachübergreifende Planen und die engere Einbeziehung der Gebäudetechnik in den Entwurf führen zu formalen Änderungen der Typologien. Um solare Gewinne zu erzielen orientieren sich Glasfronten nach Süden. Teilweise werden Fassaden gekrümmt um ein Maximum an Fläche für die Einstrahlung zu bieten. Der durch die geforderte Behaglichkeit im Sommer erforderliche Sonnenschutz verändert die Fassade und die Dachform. Auskragungen über Südfassaden zur baulichen Abschattung sind die gängigste Form.

### 2.2.2 Lüftung

Der Luftwechsel stellt im Allgemeinen den höchsten Wärmeverlust dar. Dadurch ergibt sich die Anforderung an die Strömungsdichtheit der Hülle um Fehlströme, die Energieverluste bedeuten, zu vermeiden. Der geforderte Luftwechsel in Sporthallen und in Nebenräumen wird bei einer energieeffizienten Planung anders bewertet als bei standardisierten Annahmen. Die erforderlichen Luftmengen werden über Sensoren und definierte Benutzerprofile geregelt. Zum Einsatz kommen z.B.: CO<sub>2</sub>-Fühler in der Halle um die verbrauchte Luft zu ermitteln und Feuchtigkeitsmesser in den Duschkabinen. Eine kombinierte Lüftung von Umkleiden und Waschräumen dient ebenfalls zur Reduzierung der erforderlichen Luftmengen. Ein Benutzerprofil ermöglicht die Abschätzung der Leistung aufgrund von Belegungszahlen. Das Lüftungssystem weiß somit wann wie viele Personen zu versorgen sind.

Da Frischluft im Winter nahezu immer zu kühl ist, um den Behaglichkeitskriterien zu entsprechen, bedeutet die Vorerwärmung immer einen Energieaufwand. Dieser kann in einer modernen Lüftungsanlage großteils durch die Wärmerückgewinnung der Abluft

erzielt werden. Anlagen, die mehr als 80% der Wärme aus der Abluft wieder nutzen, sind bereits machbar.

Die natürliche Lüftung bietet sich heute als Alternative zu den RLT-Anlagen an. Dabei geht es darum die hohe Primärenergie, die zur Erzeugung von Antriebsstrom der Lüftförderung benötigt wird zu vermeiden. Bei diesem Prinzip geschieht die Luftbewegung ausschließlich über Thermik (Temperatur- und Druckdifferenz). Dieses System erfordert eine sehr intensive Auseinandersetzung mit der Gebäudedynamik und dem Außenklima, um eine funktionierende Lösung zu erarbeiten. Konventionelle Sporthallen sind meistens natürlich belüftet. Bei einer energieeffizienten Sporthalle stehen die Anforderungen hinsichtlich der Minimierung von Heiz- und Kühlenergiebedarf im Vordergrund. Dies erfordert besondere Maßnahmen bei der natürlichen Lüftung, z.B. mit effektiver Wärmerückgewinnung. Am Beginn der Entscheidungsfindung wird mit Hilfe von Simulationen festgestellt in wie weit dieses Lüftungssystem mitbestimmend ist für die Gebäudeform. In der Praxis wird dieses System oft unterstützt durch RLT-Anlagen oder Ventilatoren, die im Bedarfsfall, z.B. ungünstigen Windströmungen, zugeschaltet werden. Teilweise werden die motorisch gesteuerten RWA- Klappen zur natürlichen Lüftung mitgenutzt. Hybride Systeme nutzen den Grossteil des Jahres die natürliche Lüftung und haben in der Heizperiode ein Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung. In der Recherche wurden keine vergleichbaren und aussagekräftigen Daten zum Energieaufwand der Lüftungen gefunden.

### 2.2.3 Heizen

Dem Heizen wird bei den meisten energieeffizienten Bauten die Hauptaufmerksamkeit gewidmet. So bezieht sich der Passivhausstandard hauptsächlich auf die Kenngröße des Heizwärmebedarfs  $15\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  oder umgerechnet in Volumeneinheiten  $5\text{-}6\text{kWh}/\text{m}^3\cdot\text{a}$ . Diese Werte sind fast nur durch Mithilfe einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung erreichbar. Bei diesem System wird ausschließlich über die RLT-Anlage geheizt. Die Wärmeübertragung über die Luft ist eine Variante um die benötigte Energie zu transportieren. Mit dieser Variante ist aber ein Auskühlen der Oberflächen durch die Luftbewegung verbunden. Das bedeutet zusätzliche Energie um eine behagliche Empfindungstemperatur zu erreichen. Dem Problem entgegnet die Wärmeübertragung durch Strahlung. Die geringere Raumtemperatur bei gleicher Empfindungstemperatur ist bei einigen Beispielen der Grund sich für Fußbodenheizung oder Deckenstrahlerplatten zu entscheiden. Gas-Dunkelstrahler haben zur Zeit den höchsten Strahlungsanteil der möglichen Wärmeabgabe. Die hohe Effizienz wird durch die direkt Verbrennung von Erdgas im Raum und eine gezielte Lenkung der Strahlung über Reflektoren erreicht. Ein Hybridsystem aus mehreren Komponenten ist eine häufig angewandte Lösung. Selten werden der bei anderen Gebäudetypen seit langen erprobten Erdkanälen eingesetzt. Hierbei wird die Außenluft durch einen Betonkanal mit großem Querschnitt angesaugt und somit auf ein deutlich höheres Temperaturniveau gebracht. Dem Prinzip der gratis Erwärmung der Luft steht der hohe Errichtungsaufwand gegenüber, der aber mit einer Mehrfachnutzung durchaus gerechtfertigt sein kann.

Der Energieverbrauch liegt im Bereich von  $4\text{kWh}/\text{m}^3\cdot\text{a}$  für das gesamte Gebäude. Welche Flächen dazu in Bezug genommen worden sind und eine Aufschlüsselung nach Nutzungen wird nicht angeführt. Die Vergleichbarkeit ist daher nicht gegeben.

### 2.2.4 Kühlen

Im Gegensatz zur konventionellen Hallenplanung wird bei der energieeffizienten Planung großer Wert auf die Behaglichkeit über das Jahr gesehen gelegt. Das führt zu einem Kühlungsbedarf im Sommer. Die Kühllast wird durch die hohe Dämmung und Strömungsdichtheit der Gebäudehülle verringert. Maßnahmen wie die effektive

Abschattung von energieeintragenden Glasflächen stehen im Widerspruch zu der maximalen Nutzung von Tageslicht. In Konzepten mit natürlicher Lüftung ist daher die freie Nachtkühlung integriert. Dabei handelt es sich um eine automatisierte kontrollierte Ablüftung der warmen Luft über die kühlen Nachtstunden. Dabei werden die Speichermassen der Halle und Nebenräume gekühlt um am Tag wieder Wärmeenergie aufnehmen zu können. Dieses Prinzip setzt eine genaue Simulation der Gebäude voraus, um ein einwandfreies Funktionieren zu gewährleisten. Mit dem gleichen Prinzip wie beim Heizen kann die warme Außenluft im Sommer über einen Erdkanal gekühlt werden. In der Literatur finden sich keine Angaben zum Energieverbrauch der benötigten Steuerung. Es wird lediglich das Konzept der Kühlung erläutert. Kühllasten, Speichermassen und Luftgeschwindigkeiten werden nicht angeführt.

#### 2.2.5 Lichtkonzept

Tageslicht ist in zeitgemäßen Energiekonzepten ein Hauptbestandteil. Elektrische Energie ist in der Primärenergiebilanz der ausschlaggebende Anteil. Neben der Luftförderung ist die künstliche Beleuchtung der Hauptverursacher für hohe Energiekosten. Angaben zum Energieverbrauch und dem Verhältnis der einzelnen Verbrauchergruppen finden sich nicht in der Literatur.

In Sporthallen ist der Einsatz von Tageslicht im Vergleich mit anderen Räumen erleichtert. Das Verhältnis von Außenfläche zu Nutzfläche und die große Raumhöhe wirkt sich hier positiv aus. Konzepte zur Tageslichtnutzung bestimmen die Anordnung und Größe der Fenster. Ein Maximum an Glasflächen mit einem schlechten Dämmwert, steht in Konkurrenz zu einer hoch gedämmten Gebäudehülle.

Bei der Lichtführung ist besonders auf das Vermeiden von Blendung zu achten. Die optimalen Verhältnisse bei vielen Sportarten bedingen eine exakte Wahrnehmung der Umgebung ohne störende Reflexionen oder scharfen Schattenwurf. Nordlicht bietet in vielen Beispielen eine ideale Lichtbedingung, dass über Fassadenflächen oder Shed-Oberlichten in den Raum geleitet wird. Bei anderen Konzepten werden lichtstreuende Folien in den Scheibenzwischenraum geklebt oder das Licht an diffus brechende Oberflächen geleitet und so blendfrei in den Raum geworfen.

Einfache Berechnungen zur Lichtverteilung und Blendung sind bereits Standard bei der Lichtplanung. Verschattungen werden aber meist ohne Berücksichtigung der Tageslichtreduktion gewählt. Eine weitere Einsparung bringt die tageslichtabhängige Dimmung der Leuchten in Kombination mit einem Präsenzmelder und einem genauen Nutzungsprofil. Die Beleuchtung wird daher immer auf der für die Nutzung gewählten Helligkeit automatisch eingestellt. Zwei Systeme sind dabei im Einsatz. Das erste ist ein stufenweises Ein- und Ausschalten von einzelnen Leuchtmittel. Dieses System ist kostengünstig, aber nicht exakt regelbar. Das zweite System dimmt über digitale Vorschaltgeräte Leuchtstoffröhren. Die höhere Lichtleistung und Lebensdauer von T5 Leuchten im Vergleich zu den alten T8 Leuchten rechnet sich trotz der teureren Anschaffung. Bei Präsenzmeldern ist genau zu prüfen bei welchen Räumen sie sinnvoll einzusetzen sind, da ihr Mehrverbrauch an Energie die Einsparung im Normalbetrieb ausgleichen muss. Üblicher Weise werden sie nur in Umkleiden und Waschräumen eingesetzt. Die Halle wird effektiver über das Benutzerprofil und die Tageslichtsensoren gesteuert.

#### 2.2.6 Wassermanagement

Wassermanagement wird bei immer mehr Sporthallen zur Selbstverständlichkeit. Dabei wird vor allem auf die Reduktion des unnötig verbrauchten Wassers Wertgelegt. Der Wasserbedarf steigt bei Turnieren und Veranstaltungen sprunghaft an. Grundmaßnahmen sind die Anwendung von selbstschließenden Wasserspararmaturen

und bedarfsgerechte WC-Spülungen. Grauwassernutzung in Form von Regenwasser, aufbereitetem Abwasser aus Duschen und Waschbecken zur WC-Spülung, Regenwasser für die Außenanlagen und zur Reinigung tragen zur Senkung des Trinkwasserbedarfs bei.

Aus Gründen der Nachhaltigkeit wie sinkender Grundwasserspiegel und oft hohe Abwassergebühren werden Regenwässer die nicht genutzt werden direkt vor Ort versickert. Das Rückhalten von Regenwässern durch eine Dachbegrünung bringt neben der Senkung des Hochwasserrisikos eine Verbesserung des lokalen Mikroklimas. Dabei werden die Temperaturspitzen durch glatte versiegelte Flächen, die Hitzestaus verursachen, gemildert. Die bei der Versickerung vor Ort möglichen ökologisch hochwertigen Feucht- bzw. Wechselfeuchte Biotope tragen ebenfalls zu einer Verbesserung bei und können im Idealfall sogar die Außenluft im Bereich der Einbringung ins Gebäude im Sommer kühlen und in der Übergangszeit leicht erwärmen. Diese Flächen bilden den Ausgleich zu versiegelten Flächen und in Schulen dienen sie zusätzlich als Anschauungs- und Lernobjekt.

#### 2.2.7 Energieversorgung

Die Energieversorgung spielt bei einem nachhaltigen Konzept eine bedeutende Rolle. Standard ist der Einsatz von thermischen Solarkollektoren, die meist auf dem Dach aufgeständert und ideal orientiert sind. Diese Systeme dienen der Warmwasserbereitung. Mit hochwertigen Vakuumdampfkollektoren werden auch Temperaturen über 70°C erreicht, die der Legionellen- Vorbeugung entsprechen. Schichten-Pufferspeicher dienen zur kurzzeitigen Überbrückung von strahlungsarmen Phasen.

Selten werden geothermische Systeme wie Tiefenbohrungen oder Flachkollektoren zur Speicherung bzw. Energieversorgung genutzt. Der Vorteil der Heizung und Kühlung ist bei dem geringen meist durch Nachtkühlung gedeckten Bedarf nicht gegeben. Dieses System bietet Vorteile bei der Mehrfachnutzung durch eine erforderliche Tiefgründung, die aber bei den verhältnismäßig geringen einzutragenden Lasten sehr selten auftritt.

Photovoltaikpaneele sind durch entsprechende Förderungen vermehrt im Einsatz. Die durchschnittliche Leistung liegt bei ca. 4kWp. Selten wird die Anlage in die Fassade integriert. Meist liegt sie als zusätzliches Element vor der Fassade bzw. auf dem Dach. Die Anlagen werden netzgestützt betrieben oder es wird ausschließlich ins Netz eingespeist.

#### 2.2.8 Materialien

Um die hohe Dämmwirkung der Gebäudehülle zu erreichen werden im Vergleich zu konventionellen Bauwerken spezialisierte Materialien und Bauteile eingesetzt. Im Bereich der opaken Bauteile ist eine größere Dicke der Dämmung ausreichend. Eine Vorgehensweise, die bei transparenten Bauteilen ein Problem ergibt. Bei Wärmedämmverglasungen mit drei Scheiben ergibt sich ein stark reduzierter Energiedurchlass. Das bedeutet weniger solare Gewinne und weniger Tageslicht. Durch die hohe Dämmwirkung der Verglasung stellt der Randverbund und der Rahmen bzw. Stock den Schwachpunkt dar. Gedämmte Rahmenprofile und spezieller Einbau reduzieren diese Wärmebrücken, bilden aber zur Zeit noch das Hauptproblem in der Gebäudehülle.

Wärmebrücken treten im Bereich der Lastabtragung in den Untergrund auf. Die hohen Anforderungen an die Druckfestigkeit stehen im physikalischen Widerspruch zu Dämmmaterialien. Gängige Lösungen sind in wenig beanspruchten Bereichen Schaumglasblöcke. Bei großflächigen Fundamentierungen wie Plattenfundamenten

werden zunehmend dämmende, Feuchtigkeits- und verrottungsresistente Schüttungen aus geblähtem Glasschotter eingesetzt.

#### 2.2.9 Kosten, Einsparung, Return Of Investment ROI

Bei den angeführten Konzepten energieeffizienter Bauten wurde ein genaues Monitoring über die getroffenen Maßnahmen geführt. Einsparungspotenziale von über 80% der Heizkosten sind erzielbar. Die Einsparungen im Bereich elektrischer Strom sind jedenfalls hoch genug, um die Mehrkosten einzuspielen. Im Bereich Photovoltaik gibt es einige Modelle. Mit guten Förderungen lässt sich ein ROI von 6-9 Jahren annehmen. Mit dem Prinzip Contracting über Fremdfirmen können weit bessere Ergebnisse erzielt werden. Tendenziell ist zu beobachten, dass sich die Planungsphase verlängert und sich Baukosten von der Gebäudetechnik hin zum Rohbau und Ausbau verschieben.

### 2.3 STAND DER FORSCHUNG

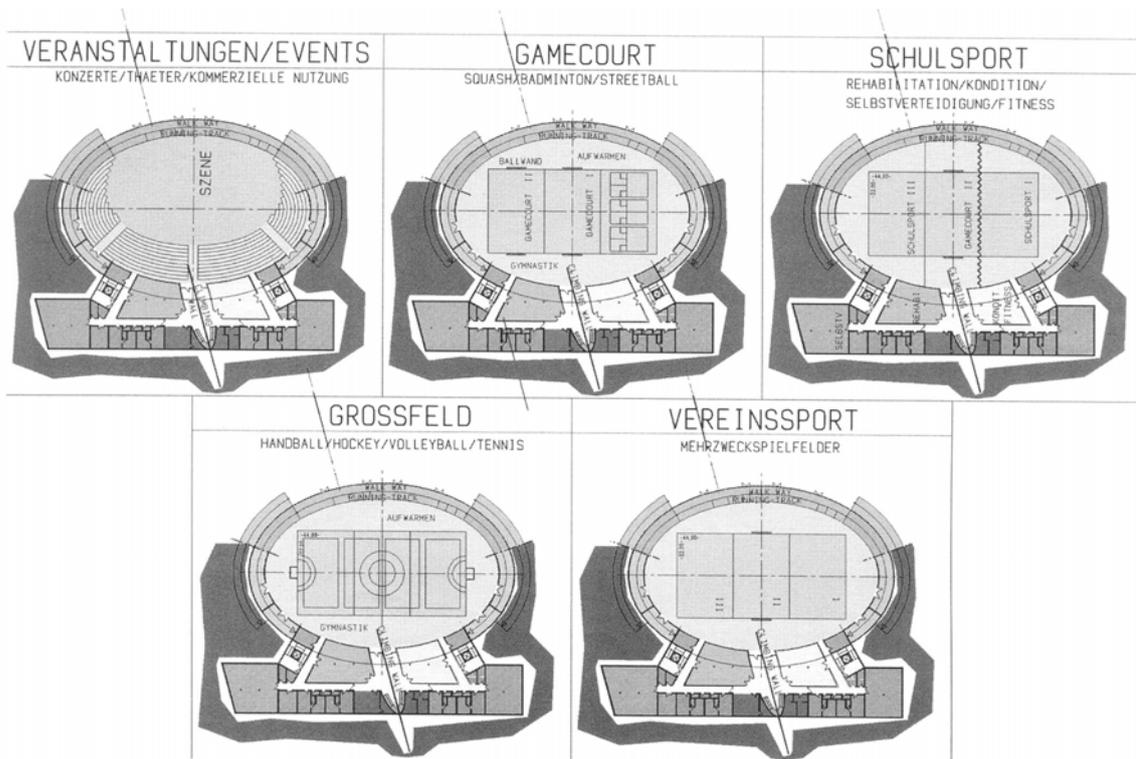
Der Stand der Forschung betrifft die in experimentellen Stadien befindlichen Systeme und Konzepte, die erst in Prototypen umgesetzt worden sind und noch einer genauen Bewertung bedürfen. Die Tendenzen in der energieeffizienten Bauforschung bilden drei Zweige: Das Optimieren von Dämmleistungen und Verlustminimierung, das Optimieren des Energiegewinns durch Bauteile und deren Multifunktionalität, die Optimierung der Gesamtenergiebilanz in Bezug auf graue Energie.

#### 2.3.1 Gebäudeform

Die Gebäudeform ist ein wichtiger Punkt, um einen hohen Standard an Einsparung und Gewinnen zu erreichen. Passivhaus-Sporthallen werden durch Ausrichtung und Form an die Umgebungsbedingungen so weit wie möglich angepasst. Thermische Zonierung spart Energie. Südlich vorgelagerte wintergartenähnliche Räume dienen als Klimapuffer und zur passiven Energiegewinnung an kalten strahlungsreichen Tagen.

##### Das Ballhaus©-Prinzip

Das Ballhaus©-Prinzip ist eine aus historischen Ballhäusern entwickelte Typologie zur flexibleren und zukunftsfähigen Nutzung. Dabei wird auf eine nicht kommunale Errichtung gesetzt, die eine Vielzahl von Nutzungen ermöglichen soll. Das Ziel ist eine multifunktionelle Struktur zu schaffen, die sowohl den konventionellen Vereinssport als auch den Trend zu kurs- und stundenbasiertem Sportangebot ermöglicht. Ein modulares System, gruppiert um ein Sportoval mit variablen Bühnen, bildet das Kernstück des Systems. Durch die volle Auslastung der Halle und das Angebot von Trendsportarten soll langfristig ein kostendeckender Betrieb möglich sein.



**Abbildung 1:** Ballhaus©-Prinzip Nutzungsschema, Quelle: Westfälischer Turnerbund e.V. und Initiative "Sport und Umwelt" Die Turnhalle der Zukunft: Praxisbeispiele und Perspektiven von umweltgerechten und multifunktionalen Sportstätten, Heidelberg, Müller, 2000

### 2.3.2 Lüftung

Die Weiterentwicklung der Lüftungssysteme mit Hilfe genauer Strömungssimulationen ermöglicht eine Minimierung des benötigten Luftvolumenstroms. Die Tendenz geht zu einem durch externe und interne Sensoren (Temperatur, Feuchtigkeit, Belegungszahl und Luftgüte) unterstützten intelligenten hybriden Lüftungssystem. Dieses System ist mit allen anderen gebäudetechnischen Komponenten über eine Steuerungszentrale verbunden.

### 2.3.3 Heizen

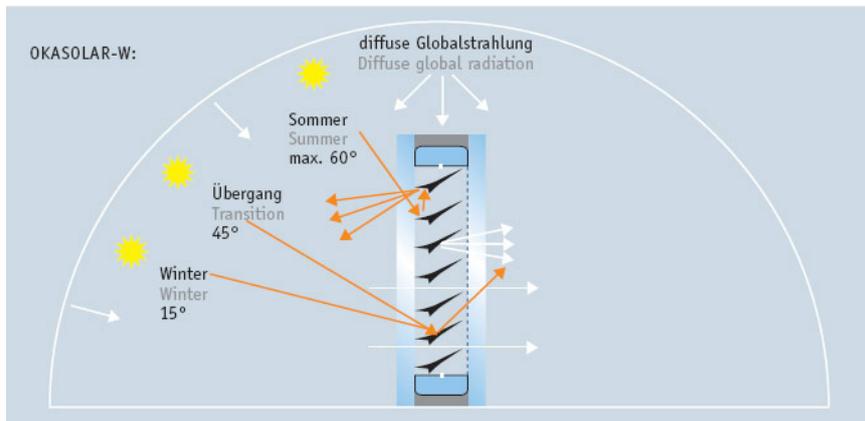
Das vollständig vernetzte Gebäude ist durch externe Wetterprognosen in der Lage, die Heizungssysteme je nach Trägheit auf eine ideale Weise zu aktivieren. Das System berücksichtigt alle Effekte wie kurzzeitige Abkühlung und zu erwartende passive solare Gewinne. Die genaue Dosierung der notwendigen Wärmeenergie ist effektiver als andere Systeme, die nur kurzfristig entscheiden und nur langsam reagieren können.

### 2.3.4 Lichtkonzept

Ziel der Forschungen ist es, die Tageslichtausbeute durch lichtdurchlässige Flächen zu erhöhen und gleichzeitig die Wärmeverluste und die Blendung zu verringern. Um das Potenzial der auf die Flächen auftreffenden Energie effektiv zu nutzen, muss das Licht gleichmäßig über die gesamte Tiefe des Raumes verteilt werden. Lichtlenkung bei gleichzeitiger Verringerung der Blendung durch Diffusion ist das Ziel der eingesetzten Produkte. Firmen bieten hier vier Systeme an.

### System 1 direkte Lichtlenkung:

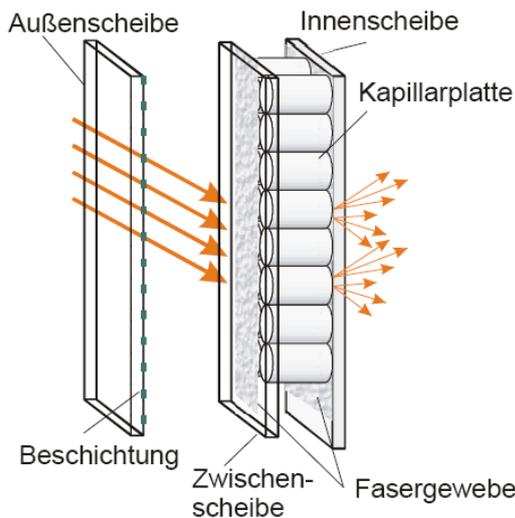
In eine Zwei- oder Dreischeiben-Isolierverglasung sind hoch reflektierende Lamellen mit einer optimierten Krümmung so im Scheibenzwischenraum angeordnet, dass sie bei einer hohen Transparenz und teilweisen Durchsichtigkeit das direkt einfallende Licht gezielt in den Raum lenken. Die Reflektoren können individuell angepasst werden.



**Abbildung 2:** System der Lichtlenkung der Firma Okalux, Quelle: <http://www.okalux.de/produkte/marken/okasolar/okasolar-w.html>

### System 2: Indirekte Lichtlenkung über Rohrmatten

Bei diesem System wird in den Scheibenzwischenraum eine Matte aus horizontal geneigten transparenten Rohren gelegt. Über die Lichtbrechung der Geometrie soll im Winter bei flach stehender Sonne ein höherer Energiedurchlasskoeffizient erreicht werden. Eine Durchsichtigkeit ist nur bedingt gegeben.



**Abbildung 3:** Kapillarrohrmatte der Firma Okalux, Quelle: [http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i\\_okalux\\_k.pdf](http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i_okalux_k.pdf)

### System 3: Diffuse Lichtlenkung über Aerogele

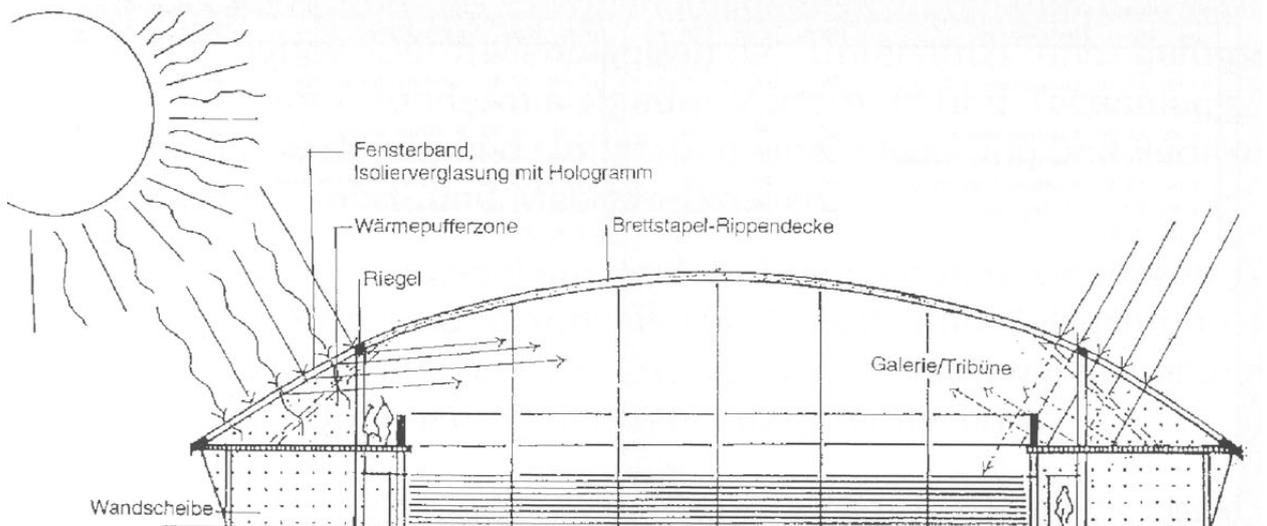
Silikat-Aerogele sind Feststoffe, die mit über 95% Porenanteil extrem leicht und lichtdurchlässig sind. Sie bilden eine Art fraktale Schwammstruktur, die das höchste derzeit machbare Verhältnis von Festigkeit zu Eigengewicht haben. Aerogele lassen sich in jede beliebige Form bringen. Am gängigsten ist ihre Anwendung als Granulat. Diese wird als Füllung in Paneelen verwendet. Am Markt befindliche Produkte füllen eine Polycarbonat Hohlkammerplatte mit Aerogel-Granulat und erzielen laut Firmenangaben neben einer höheren Dämmleistung auch eine Verbesserung des Luftschallschutzes und der Lichtstreuung bei gleichzeitiger Lichtlenkung.



**Abbildung 4:** nanogel© der Firma Interlux, Quelle: [http://www.interlux.at/documents/25\\_070705.pdf/](http://www.interlux.at/documents/25_070705.pdf/)

### System 4: Lichtlenkung über holographische optische Elemente (HOE)

Bei der Lichtlenkung über HOE-Folien kommt es zu einer Beugung definierter Wellenlängen des Tageslichtspektrums. Diese Technologie ist seit 1993 im Einsatz, wird jedoch selten angewandt. Eine durchsichtige Folie wird auf eine Glasscheibe aufgedampft. Die holographische Schicht besteht aus einer mikroskopischen Lamellenstruktur, die auf einer 0.28mm starken Polymerfolie erzeugt wird.



**Abbildung 5:** Anwendung Hologramm-Folien Ecohalle Kleinmachnov , Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004, S.218

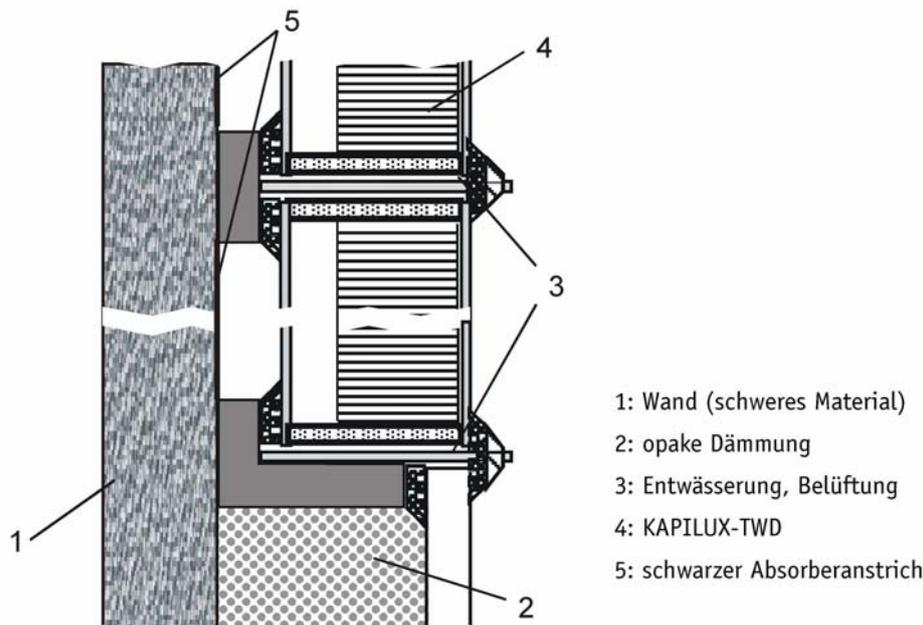
### 2.3.5 Solare Wandsysteme

#### Solaraktive Fassaden

Solaraktive Fassaden sind Systeme, die darauf ausgelegt sind, solare Strahlung durch lichtdurchlässige Materialien zu leiten und an einer Absorberoberfläche in Wärmestrahlung umzuwandeln. Bei speicheraktiven Massen wird die Wärme zeitversetzt an den Innenraum weitergeleitet. Die Wärmeabgabe geschieht zum Großteil über Strahlung. Die zeitversetzte Wärmeabgabe muss hier über die Wandkonstruktion so gesteuert werden, dass sie mit der Nutzung übereinstimmt. Im Vergleich zu einer opaken Wärmedämmung die nur die Verluste reduziert, ist die Energiebilanz durch die Wärmegewinne deutlich positiver auch bei einem höheren u-Wert. Probleme entstehen durch sommerliche Überhitzung. Das Aufheizen der Massen an strahlungsreichen heißen Tagen kann durch eine Abschattung im Sommer verhindert werden.

#### Transparente Wärmedämmung

Transparente Wärmedämmungen (TWD) bestehen aus drei Hauptelementen: Abdeckungen, lichtleitende Dämmung im Scheibenzwischenraum und Absorber. Die Abdeckungen sind in einer Rahmenkonstruktion befestigt und dienen als Schutz der Dämmelemente. Die lichtleitende Dämmung gibt es in mehreren Ausführungen. Horizontale Rohre aus PMMA, PC, Glas und Karton sind am Markt. Aerogele kommen ebenfalls zum Einsatz. Der Absorber besteht je nach System aus einem Anstrich der Mauermassen oder aus Latentspeichern. <sup>2)</sup>



**Abbildung 6:** Aufbau einer TWD der Firma Okalux, Quelle:  
[http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i\\_kapilux\\_twd.pdf](http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i_kapilux_twd.pdf)

### Transparentes Wärmedämmverbundsystem

Transparente Wärmedämmverbundsysteme (TWDVS) sind eine Abwandlung der TWD. Sie bestehen aus denselben Elementen, wobei die Abdeckung aus einem lichtdurchlässigen PU-Glasputz besteht und die Dämmung auf die Wand geklebt wird. Der Kleber fungiert dabei als Absorber.

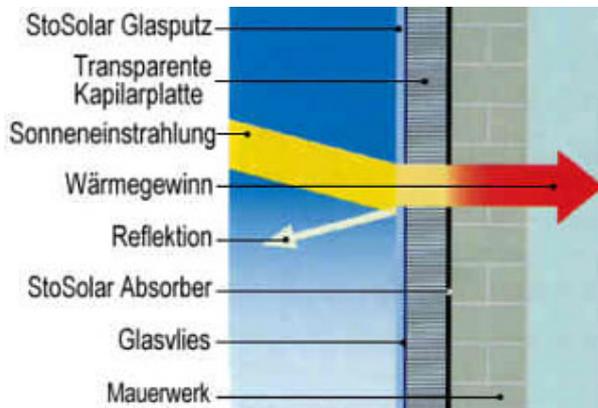


Abbildung 7: TWDVS der Firma Sto, Quelle: <http://www.sto.at/htmger/pr0404.htm>

### LUCIDO©

Dieses System arbeitet ähnlich dem Papierwaben-Prinzip mit einer direkten Erwärmung hinter einer Glasscheibe durch das Umwandeln von kurzwelliger Strahlung zu langwelliger Wärme. Dadurch wird eine Reduzierung der Wärmeverluste erreicht und teilweise Gewinne in den Innenraum weitergeleitet. Der Konstruktionsaufbau: Cellulose Dämmung, Winddichtung, Gipsfaserplatte, Lärchenholzabsorber, Luftspalt, Glasscheibe in einer Rahmenkonstruktion. Die Materialien haben eine gute ökologische Bewertung und werden mit einer im Vergleich zu anderen Systemen geringen Grauen Energie produziert. Durch standortoptimierte Berechnung des Luftspalts und der Lammellen wird eine gute Leistung erreicht.

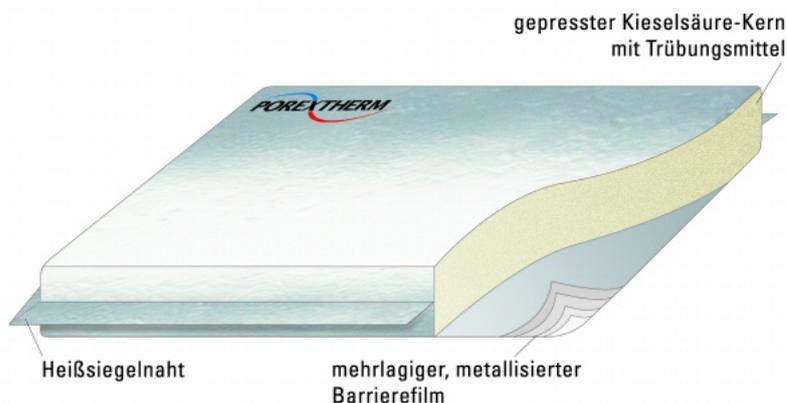


Abbildung 8: Aufbau LUCIOD©, Quelle: [http://www.lucido-solar.com/ger\\_der.htm](http://www.lucido-solar.com/ger_der.htm)

### 2.3.6 Dämmsysteme

#### Hochleistungsdämmungen

Vakuumdämmungen sind zurzeit die effektivsten Dämmsysteme mit der geringsten Dicke. Standard ist ein mit gepresster Kieselsäure gefülltes Alupaneel, in dem ein Unterdruck erzeugt wird. Die Anwendungen gehen von Türfüllungen über Lüftungsklappen bis hin zur kompletten Gebäudedämmung. Hohe Kosten und die Problematik der mechanischen Beständigkeit sind die Hauptprobleme. Sinnvoll ist die Anwendung bei dünnen Bauteilen, die eine hohe Dämmleistung erzielen sollen.



**Abbildung 9:** Aufbau Vakuumpaneel der Firma Porextherm,  
Quelle: [http://www.ecoba.de/produktedaemmstoffe/vakuumdaemmung\\_vakuum\\_isolationspaneele](http://www.ecoba.de/produktedaemmstoffe/vakuumdaemmung_vakuum_isolationspaneele)

### 2.3.7 Graue Energie

Die Bilanzierung der gesamten Energie, die ein Bauwerk in seiner Nutzungszeit inklusive Herstellung und Entsorgung benötigt, ist ein sehr komplexer Zweig der Forschung. Einfache Ansätze des ökologischen Bauens bewerten die Baustoffe hinsichtlich dieser Kriterien. Die Aussagekraft und Nachvollziehbarkeit der Angaben, sowie ein umfassendes Betrachten der Situation sind extrem schwierig und zeitaufwändig.

#### Cellulose

Betrachtet man die Bilanz der grauen Energie von konventionellen Dämmstoffen, ist hier Einsparungspotenzial gegeben. Biologische Baustoffe wie Hanf und Schafwolle werden wegen ihrer hohen Kosten selten in Bauwerken eingesetzt. Cellulosedämmungen finden schon seit Jahren Anwendung in Sporthallen als eingeblasene Flockendämmung oder als Dämmplatten. Dieser Dämmstoff besteht zu 100% aus Altpapier. Schwachpunkt ist die Wiederverwendung der Dämmung, da sie mit Zusatzmitteln versehen werden muss um Brandschutzanforderungen zu genügen und eine gewisse Schädlingsresistenz aufzuweisen.

#### Stroh

Stroh ist in der Liste der biologischen Dämmstoffe ein altes System, das zurzeit neu bewertet wird. Forschungen der TU Wien haben nachgewiesen, dass dieser Baustoff sehr gute bauphysikalische Eigenschaften besitzt. Den größten Vorteil gegenüber anderen Dämmstoffen stellt die ausreichende regionale Verfügbarkeit dar. In der Verarbeitung von Stroh fallen im Vergleich sehr geringe Kosten und Energiemengen an. Nachteile können sich durch die geringere Dämmleistung und die daraus resultierende höhere Dämmdicke ergeben.

## 2.4 TYPOLOGIE DREIFELDSPORTHALLE

Die Typologie von Dreifeldsporthallen unterscheidet sich von der Typologie der Einfeldsporthalle durch ihre Teilbarkeit und die damit verbundene geänderte Zugänglichkeit. Ein separater Zugang zu jeder Teilhalle muss ständig gewährleistet sein, um unterschiedliche Nutzungen zur gleichen Zeit, störungsfrei zu ermöglichen. Jeder Teilhalle muss zudem ein Geräteraum zugeordnet werden.

Nach der Analyse einer Auswahl von Dreifeldsporthallen der letzten 10 Jahre sind fünf Grundtypen erkennbar.

Typ A hat einen Verteilergang an der Längsseite der Halle, über den die Teilhallen und die Umkleiden unabhängig von der Halle erreicht werden können. Die Geräteräume befinden sich an der gegenüberliegenden Längsseite. Dieser Typ ist effizient im Flächenverbrauch.

Typ B hat zusätzlich zu Typ A einen separaten Stiefelgang, der zur Trennung von Straßenschuhen und Hallenschuhen dient.

Typ C konzentriert alle Räume auf einer Längsseite mit einem zentralen Gang. Die Geräteräume liegen direkt an der Halle.

Typ D hat einen außen liegenden Gang mit Stichgängen zu den Hallen. Die Geräteräume und die Umkleiden haben eine direkte Verbindung zu den Teilhallen.

Typ E gleicht in der Ganganordnung Typ D. Die Geräteräume sind aber an der, den Umkleiden gegenüberliegenden, Hallenseite situiert.

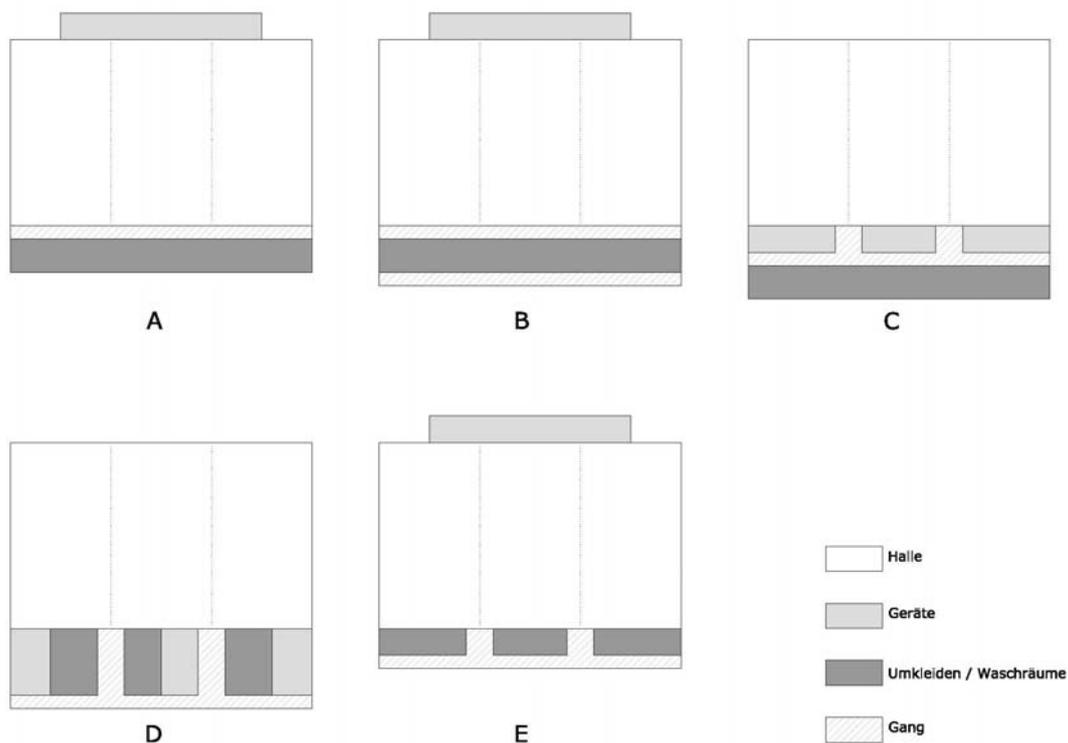


Abbildung 10: Typologien Dreifeldsporthalle

### 3 CASE STUDIES

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Analyse bestehender Sportstätten, die mindestens teilweise eine energieeffiziente Planung aufweisen.

#### 3.1 „ÖKO-TURNHALLE“, MÄDER (AUT)[25]

Bauherr:	Gemeinde Mäder
Architekt:	Baumschlager + Eberle
Energiekonzept:	
Fertigstellung:	1998

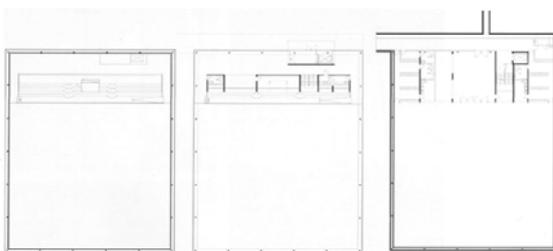
Die teilweise versenkte Zweifeldturnhalle ist ein Teil eines Schulkomplexes. Genutzt wird sie durch die Schule und durch Vereine. Eine fixe Tribüne bietet Platz für 200 Zuschauer. Das architektonische Konzept sieht im Untergeschoß den Umkleidetrakt und im Erdgeschoß das Foyer und die Tribünen vor.



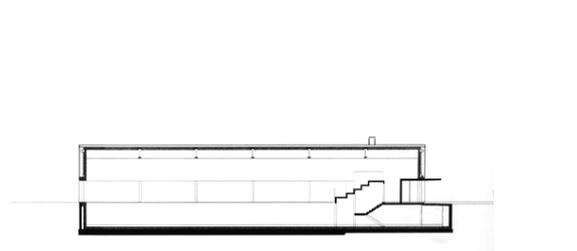
**Abbildung 11:** Eingang Turnhalle (links), Quelle: <http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113>



**Abbildung 12:** Innenansicht, Quelle: [http://www.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id\\_118,s\\_Projects.fb15](http://www.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_118,s_Projects.fb15)



**Abbildung 13:** Grundriss, Quelle: <http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113>



**Abbildung 14:** Schnitt, Quelle: <http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113>

### 3.1.1 Energiekonzept

Wichtig war die Wahl ökologischer Baustoffe. Die Konstruktion besteht zu einem Großteil aus Glas und ist im Innenbereich mit Schafwolle gedämmt. Beheizt wird die Halle über eine RLT- Anlage mit Wärmerückgewinnung. Die Nebenräume werden über eine Fußbodenheizung versorgt.

Energiebezugsfläche: 2982m<sup>2</sup>;

Heizenergiebedarf: 56.658kWh/a.

Warmwasserversorgung: 24.600kWh/a davon Solarkollektoren: 12.240kWh/a

Stromverbrauch: 23.498kWh/a davon PV: 5.800kWh/a

Die Luftqualität wird über Sensoren gemessen und jeder Raum einzeln gelüftet. Ein Vorkonditionieren der Luft geschieht über einen Erdkanal aus PE-Rohren. Das Beleuchtungskonzept integriert eine tageslichtabhängige Steuerung mit Präsenzmeldern und einem Belegungsprogramm. Auf dem Dach der Halle sind PV-Paneele mit einer Leistung von 10kWp installiert. Eine thermische Solaranlage unterstützt die Bauchwassererwärmung.

## 3.2 SPORTHALLE ODENWALDSCHULE, OBERHAMBACH [26]

Bauherr:	Odenwaldschule
Architekt:	Arch. Prof. Peter Hübner
Energiekonzept:	Transsolar
Fertigstellung:	1995

Die Zweifeldturnhalle ist in einen steilen Hang eingebettet. Die Umkleiden sind in einem längsseitigen Trakt an der Halle angelagert. Sie sind auf Grund der Hangneigung unter dem Niveau der Sporthalle. Die Konstruktion besteht großteils aus Holz. Die Halle wird mit einer flachen Tonnenkonstruktion aus Leimholzbindern und Sperrholzplatten überspannt. Das begrünte Dach trägt eine quer laufende Laterne die der Belichtung dient und den Trennvorhang aufnimmt.



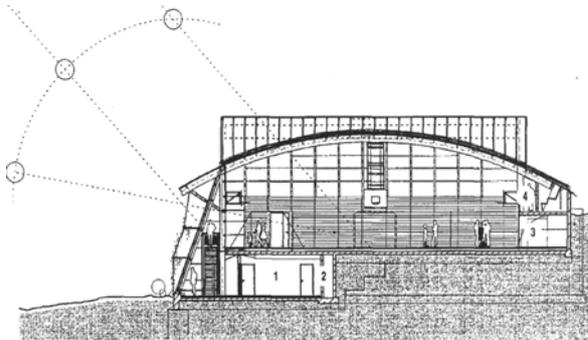
**Abbildung 15:** Sporthalle Odenwaldschule, Quelle: <http://www.plus-bauplanung.de/dna/index.php?id=1903>



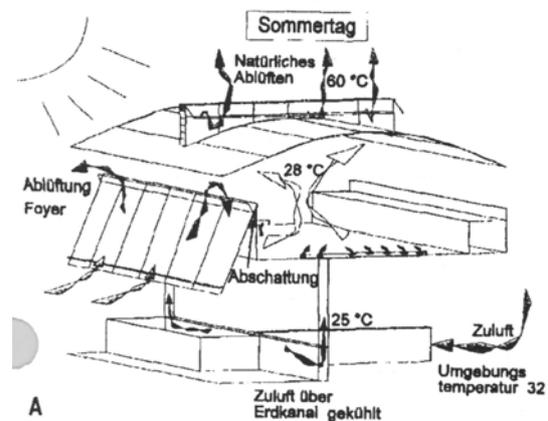
**Abbildung 16:** Sporthalle Odenwaldschule, Quelle: <http://www.plus-bauplanung.de/dna/index.php?id=1903>

### 3.2.1 Energiekonzept

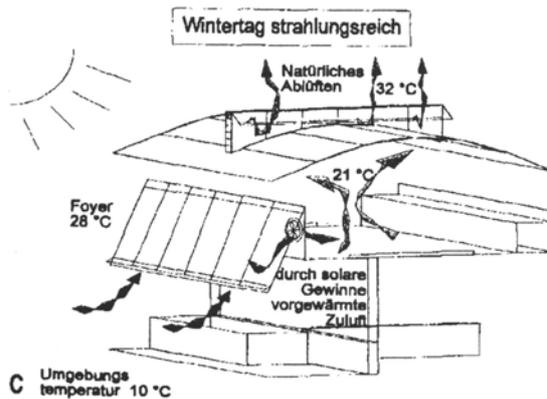
Die Halle wird über ein Luftsystem beheizt, das über einen Erdkanal die Zuluft ansaugt. Dadurch wird die Luft im Winter vorgewärmt und im Sommer gekühlt. Ein im Süden angeordnetes verglastes Foyer dient als Klimapuffer. Der Luftraum ist von der Halle thermisch über eine Verglasung getrennt. Eine Verschattung vor der Trennscheibe verhindert sommerliche Überhitzung. Zusätzliche Belichtung erfolgt über die verglasten Giebelflächen. Solarkollektoren dienen zur Brauchwassererwärmung und zur Heizungsunterstützung. Der erforderliche Luftwechsel wird durch eine motorisch unterstützte natürliche Quelllüftung sichergestellt. Die Dachlaterne nutzt zusätzlich den thermischen Auftrieb in Folge der Hitzeentwicklung durch solare Strahlung.



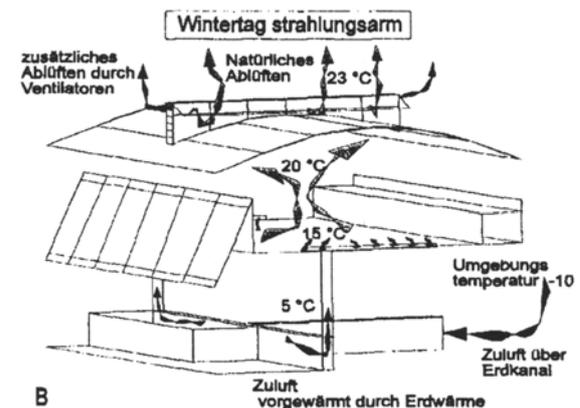
**Abbildung 17:** Sonnenschutzschema, Quelle: sb sportstättenbau und baderanlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1



**Abbildung 18:** Energiekonzept Sommer, Quelle: sb sportstättenbau und baderanlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1



**Abbildung 19:** Energiekonzept Winter strahlungsreich, Quelle: sb sportstättenbau und baderanlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1



**Abbildung 20:** Energiekonzept Winter Strahlungsarm, Quelle: sb sportstättenbau und baderanlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1

### 3.3 DAMMBÜHLHALLE, WÄNGI (CH) [3]

Bauherr:	Volksschulgemeinde und Politische Gemeinde Wängi
Architekt:	FENT SOLAR ARCHITEKTUR
Energiekonzept:	FENT SOLAR ARCHITEKTUR / Lucido Solar AG
Fertigstellung:	2001

Im 4.000 Einwohner Dorf Wängi in der Schweiz wurde eine Einfachturnhalle für eine Schule errichtet. Eine angrenzende Mehrzweckhalle hat auf Grund einer nicht realisierten Erweiterung zu viele Sanitäräume, die für die neue Halle genutzt werden. In der Ausschreibung des Architektenwettbewerbs wurden die Holzkonstruktion und die Energieeffizienz festgelegt. Eine Erweiterung auf eine Dreifeldsporthalle sollte möglich sein. Genutzt wird die Halle durch die Schule und Sportvereine. Das Dach ist extensiv begrünt.



**Abbildung 21:** Dammbühlhalle : Quelle: <http://www.sjb.ch/cms/>



**Abbildung 22:** Dammbühlhalle Lucisofassade: Quelle: <http://www.sjb.ch/cms/>



**Abbildung 23:** Dammbühlhalle, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004



**Abbildung 24:** Dammbühlhalle Turnhalle, Quelle: <http://www.sjb.ch/cms/>

#### 3.3.1 Energiekonzept

Die Gebäudeform wird durch die städtebaulichen Umstände und die Koppelung an den Bestand definiert. Die Fensterflächen wurden aus Kostengründen auf ein Minimum reduziert. Schwerpunkt des Energiekonzepts ist eine Solarfassade. Das System LUCIDO© (siehe Kapitel 2.3.5) besteht aus einem Lärchenholzabsorber mit einer vorgeschalteten Glasplatte. Diese Trombe dient zur Transmissionsverlustreduzierung durch den warmen Luftpolster und gibt zeitversetzt Wärme an den Innenraum ab. **Abbildung 25** zeigt die durch die Energiegewinne auf allen Fassadenseiten guten Energiebilanzen. **Abbildung 26** zeigt die Bauweise zur Berechnung des Heizenergiebedarfs.

	Boden	Decke	Fenster	Türen	Lucido Süden Nord	Lucido Ost West
U-Werte (W/m <sup>2</sup> K)	0.15	0.09	0.8	0.8	0.01* 0.13*	0.11* 0.11*
Wärmedämmung (cm)	14	40	-	-	20	16

\*Bilanzwert des Wärmeverlustes über die Heizperiode, umgerechnet in W/m<sup>2</sup>K

**Abbildung 25:** u-Werte der Bauteile, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004

www.warmetech.de

**Tabelle 30.2:** Basiswerte für die Berechnung des Heizenergiebedarfs

EBF 0 m <sup>2</sup>	Fläche Hülle M2	A/EBF	Wärme Brücken ml	Raum temp. °C	Dichtig- keit /h <sup>-</sup> , 50Pa	Verschät- tung %	Solar kollektoren M2	WRG %
3590	2642	0.66	45	16	0.6	10	0	80

**Abbildung 26:** Bauweise zur Berechnung des Heizenergiebedarfs, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004

### 3.4 SPORTHALLE, DALLGOW-DÖBERITZ (DE) [3],[25]

Bauherr:	Gemeinde Dallgow-Döberitz
Architekt:	ARKUS-Sportstätten AG
Energiekonzept:	Tu-Berlin, ARKUS-Sportstätten AG
Fertigstellung:	

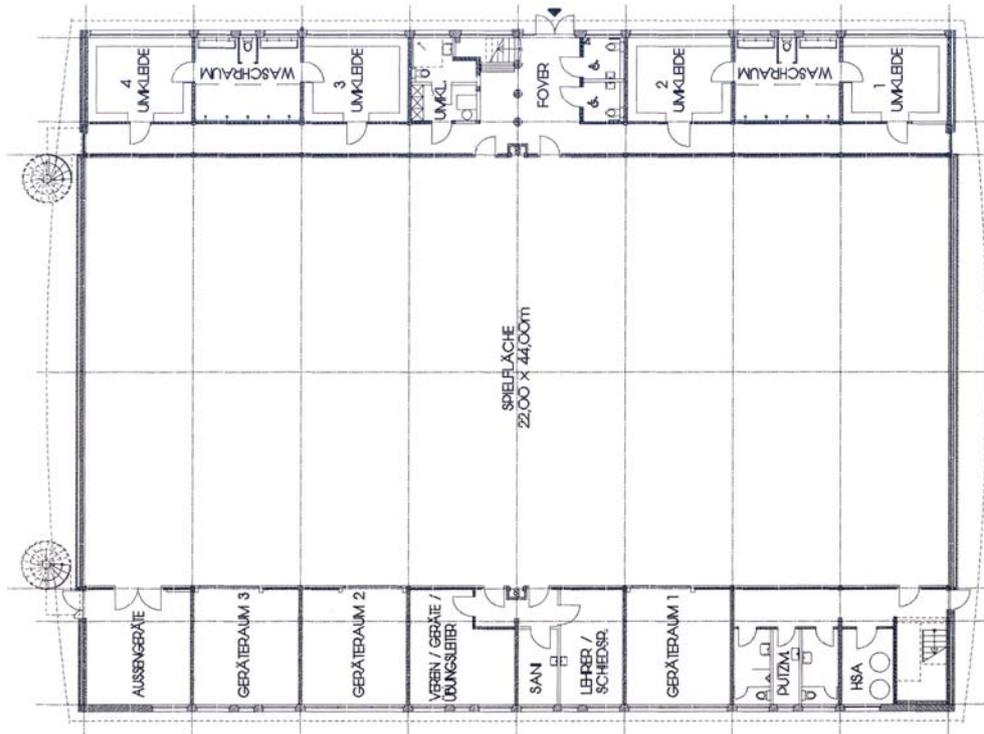
Die Zweifeldsporthalle in Dallgow-Döberitz ist mit einem Netzträgersystem in einer flachen Tonnenform überspannt. Der vorwiegende Baustoff ist Holz. Die Nebenräume werden an beiden Längsseiten angeordnet. Die Halle hat fest installierte Zuschauertribünen für bis zu 400 Menschen.



**Abbildung 27:** Sporthalle Giebelfassade, Quelle: [http://www.arkuspro.de/Sites\\_Bogenhallen/6320\\_dallgow\\_doeberitz.html](http://www.arkuspro.de/Sites_Bogenhallen/6320_dallgow_doeberitz.html)



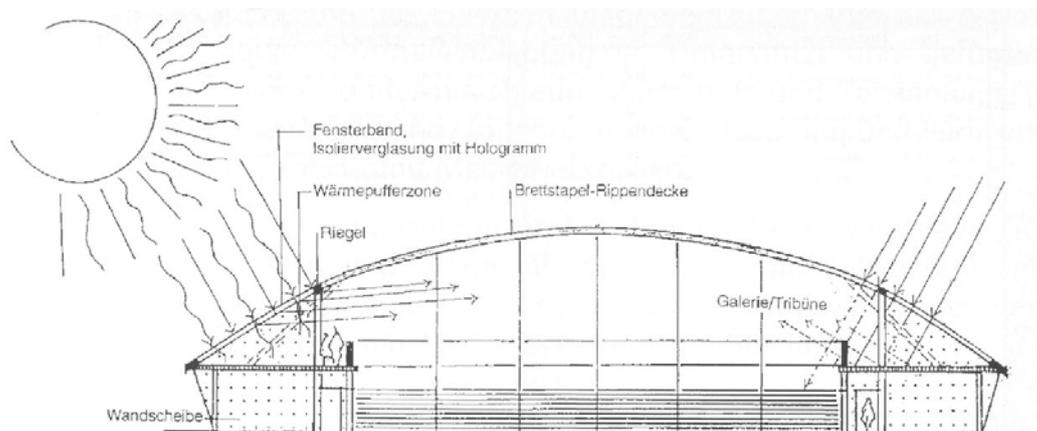
**Abbildung 28:** Innenansicht, Quelle: [http://www.arkuspro.de/Sites\\_Bogenhallen/6320\\_dallgow\\_doeberitz.html](http://www.arkuspro.de/Sites_Bogenhallen/6320_dallgow_doeberitz.html)



**Abbildung 29:** Schema Energiekonzept, Quelle: Westfälischer Turnbund e.V. und Initiative "Sport und Umwelt", Die Turnhalle der Zukunft: Praxisbeispiele und Perspektiven von umweltgerechten und multifunktionalen Sportstätten, Heidelberg, Müller, 2000

### 3.4.1 Energiekonzept

Die Gebäudeform wurde gewählt auf Grund des guten Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen. Das Flächentragwerk dient zur Reduzierung des Raumvolumens. Das Tageslichtkonzept wurde von der TU-Berlin entwickelt. Blendfreies Tageslicht wird über die Giebfassaden und die längs angeordneten Lichtbänder mit HOE-Elementen (siehe Kapitel 2.3.4) in die Halle geleitet. Die Heizung erfolgt über eine RLT- Anlage mit Wärmerückgewinnung. Solar-Luft-Kollektoren bei den Lichtbändern erwärmen zusätzlich die Luft und führen zu einer starken Senkung der Heizenergieverluste. Solarkollektoren dienen zur Unterstützung der Warmwasserbreitung. Die Halle wird über ein voll integriertes Gebäudeleitsystem geregelt und überwacht. Dieses System dient in erster Linie zur Betriebskostenauswertung.



**Abbildung 30:** Schema Energiekonzept, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004

### 3.5 BIOCLIMATIC SPORTS CENTRE, WAGENINGEN (NL) [27]

Bauherr:	Stadt Wageningen/ PV: NUON, Arnhem-NL
Architekt:	
Energiekonzept:	
Fertigstellung:	2003

Der Sportkomplex umfasst zwei teilbare Dreifeldsporthallen, einen Büroturm und einen zentralen Platz (Plaza) mit Nebenräumen und eine Kantine. Der markante Glaskonkreturm beinhaltet eine Kletterwand. Die Plaza dient als überdeckte Terrasse für die Kantine und als großzügiger Kommunikationsraum. Der Komplex wird tagsüber von Studenten und am Abend von Vereinen genutzt. An den Wochenenden finden Turniere und Veranstaltungen statt.



**Abbildung 31:** Bioclimatic Sports Centre Wageningen, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005



**Abbildung 32:** Grundriss EG, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005



**Abbildung 33:** Eingang Plaza, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005

### 3.5.1 Energiekonzept

Das Herz der Anlage ist die Plaza als unbeheizter überdachter Raum. Ein pyramidenförmiger Solarkamin, der an dem Büroturm angelehnt ist, dient zur natürlichen Lüftung der Hallen und der Plaza. Unterstützt wird das Hybridsystem durch einen Abluftventilator. Der Solarkamin ist mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Brauchwassererwärmung und zur Heizenergiegewinnung, unterstützt durch Solarkollektoren, ausgestattet. Eine großflächige PV-Anlage mit 2448m<sup>2</sup> und 281.8kWp ist über das Gebäude verteilt. Semitransparente PV-Paneele sind in das Dach der Plaza und in die Südfassade des Solarkamins integriert. Das gesamte System wurde über einen Contracting-Partner finanziert. Das nachhaltige Konzept beinhaltet auch: hochgedämmten Bauteile, thermische Zonierung, blendfreie Tageslichtnutzung, Gebäudeleittechnik, energiesparende Beleuchtung, wassersparende Armaturen und Regenwassernutzung.



**Abbildung 34:** Grundriss EG, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005



**Abbildung 35:** Eingang Plaza, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005

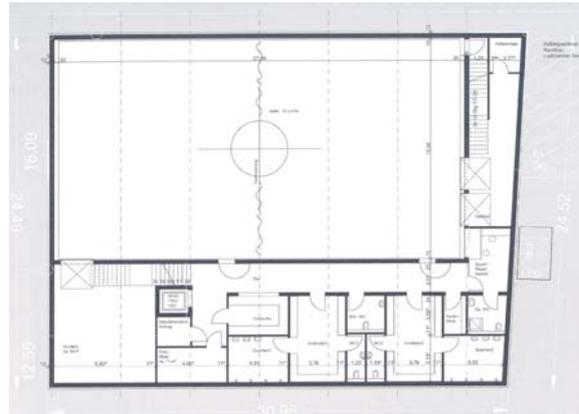
## 3.6 PASSIVHAUS-TURNHALLE, HEIDELBERG-KIRCHHEIM (DE) [3]

Bauherr:	Stadt Heidelberg
Architekt:	Ap88 Architekten: Bellm-Löffel-Lubs-Trager
Energiekonzept:	Stadt Heidelberg, Passivhaus-Institut Darmstadt
Fertigstellung:	2005

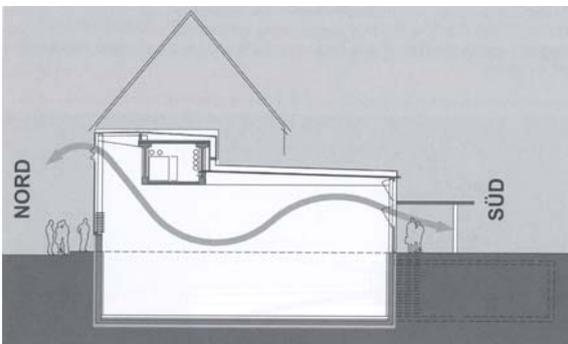
Das Bauvorhaben samt Energiekonzept wurde im Rahmen des Klimaschutzprogramms der Stadt Heidelberg entwickelt. Das Energiekonzept stammt vom örtlichen Amt für Umweltschutz, Energie und Gesundheitsförderung. Die Bauphysik wurde von dem Passivhaus-Institut Darmstadt berechnet. Die Situierung und Orientierung der Halle ist bedingt durch die städtebaulichen Randbedingungen und den Anbau an die bestehende Schule. Das Gebäude ist als Einfeldhalle nach DIN 18032 mit einem reduzierten Nebenraumprogramm geplant. Der Baukörper ist eingeschossig abgesenkt. Das Dach ist extensiv begrünt.



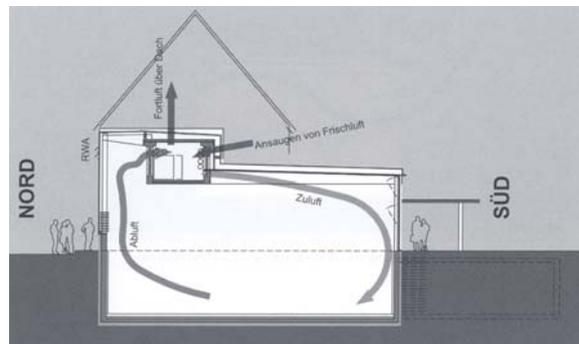
**Abbildung 36:** Schnitt, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004



**Abbildung 37:** Grundriss, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004



**Abbildung 38:** Freie Lüftung und Nachtkühlung, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004



**Abbildung 39:** Mechanische Lüftung, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004

### 3.6.1 Energiekonzept

Der angestrebte Passivhaus-Standard wurde erschwert durch die Nord-Orientierung der Hauptfensterflächen, einer Teilverschattung der Südfassade und dem unterirdischen Umkleidetrakt. Es wurde ein hybrides Lüftungssystem eingesetzt, das im Regelfall natürlich lüftet und im Bedarfsfall mit einer Wärmerückgewinnung von 80% mechanisch lüftet. Die Südfassade ist mit einem Blend- und Sonnenschutz ausgestattet. Freie Nachtkühlung ergänzt den sommerlichen Wärmeschutz. Die Warmwasserbereitung wird zum Teil über eine Solaranlage aus Flachkollektoren gedeckt. Fenster wurden durch Tageslichtsimulationen optimiert und eine tageslichtabhängige künstliche Beleuchtung installiert.

### 3.7 PASSIVHAUS-TURNHALLE, NEUBEREND (DE) [3],[28]

Bauherr:	Gemeinde Neuberend
Architekt:	Redepennig, Büdelsdorf
Energiekonzept:	Ing.-Büro Schröder, Westerrönfeld
Fertigstellung:	2003

Die Sporthalle in Neuberend ist die erste Passivhausturnhalle in Deutschland. Die freistehende Sporthalle der 1.135 Einwohner Gemeinde wurde für die angrenzende Grundschule errichtet. Die Halle wird gemischt genutzt durch Schulsport und Vereinssport. Die Gebäudehülle ist eine Leichtkonstruktion, die mit einer massiven Klinkerfassade verkleidet wurde.



**Abbildung 40:** Sporthalle Neuberend, Quelle: <http://www.energie-projekte.de/>



**Abbildung 41:** Sporthalle Neuberend, Quelle: <http://www.energie-projekte.de/>

#### 3.7.1 Energiekonzept

Das Energiekonzept hat als Schwerpunkt die hoch dämmende Gebäudehülle und die Reduzierung der Wärmebrücken. Die Heizlast wird durch die Wärmerückgewinnung mit einer Effizienz von 90% und Deckenstrahlern gedeckt. Der umbaute Raum beträgt 4.492m<sup>3</sup>. Die beheizte Fläche beträgt 637m<sup>2</sup>. Der projektierte Jahresverbrauch wurde mit 19MWh/a errechnet, was einen Wert von 5,9kWh/m<sup>3</sup>\*a ergibt. [4] Ein Monitoring der Organisation BINE ermittelte einen Verbrauch von ca. 11kWh/m<sup>2</sup>\*a Zur Unterstützung der Warmwasserbereitung wird ein Solarsystem mit 26m<sup>2</sup> Flachkollektoren eingesetzt. Die Photovoltaikanlage hat eine Leistung von 4kWp. Der Luftaustausch von max. 1000 m<sup>3</sup>/h wird durch zwei RLT-Anlagen bereitgestellt. Die Luftdichtheit wurde mit n<sub>50</sub>=0,34 1/h gemessen.

Eine tageslichtabhängige Beleuchtung mit Präsenzmeldern wurde installiert. Die Fenster sind durchgehend dreifachverglast und mit gedämmten Profilen ausgestattet. Die beiden Eingangstüren haben eine Türblattfüllung aus Vakuumdämmpaneelen.

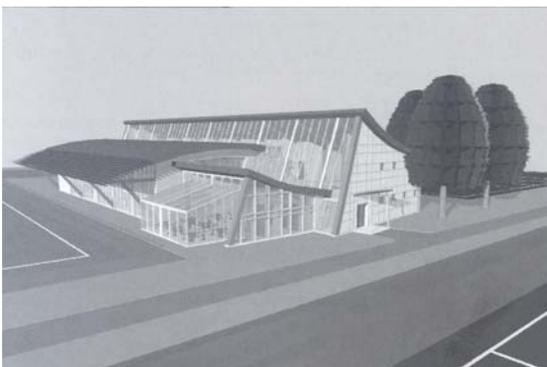
### Aktuelle Messwerte bine: [4]

Heizkennzahl:				
03/2003	-	03/2004:	11,9	kWh/m <sup>2</sup> a
03/2004	-	03/2005:	10,3	kWh/m <sup>2</sup> a
03/2005	-	03/2006:	11,0	kWh/m <sup>2</sup> a
03/2006	-	03/2007:	10,5	kWh/m <sup>2</sup> a
Stromkennzahl:				
03/2003	-	03/2004:	16,4	kWh/m <sup>2</sup> a
03/2004	-	03/2005:	14,6	kWh/m <sup>2</sup> a
03/2005	-	03/2006:	15,2	kWh/m <sup>2</sup> a
03/2006 - 03/2007:		14,3 kWh/m <sup>2</sup> a		

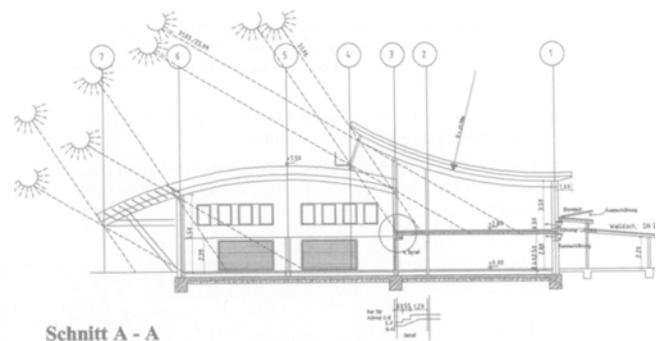
### 3.8 KONZEPT / SPORTHALLE RASPOFORUM, COESFELD (DE) [3]

Bauherr:	Rasensport Coesfeld
Architekt:	Franz A. Melchers Architekt AKNW / VFA
Energiekonzept:	Wortmann & Scheer, Ingenieurbüro für Wärme- und Energietechnik
Fertigstellung:	In Planung

Das geplante Sportforum in Coesfeld ist eine privat über den Verein finanzierte Halle. Das Projekt befindet sich noch in der ersten Planungsphase. Die angeführten Daten sind die Ergebnisse der ersten Stufe der Gebäudesimulation. Der Baukörper besteht aus einer 2781m<sup>2</sup> großen Sporthalle, einem Konditions- und Kraftraum, einem Vereinslokal und entsprechenden Nebenräumen. Die Halle ist mit einem flachen Tonnendach überspannt. Der im Norden situierte Kraft- und Konditionsraum ragt mit seiner Südfassade über die Halle hinaus. Die Situierung des Gebäudes bezieht sich auf die Außenanlagen des Sportvereins.



**Abbildung 42:** Thermisch Simulation, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004



**Abbildung 43:** Schnitt Lichtkonzept, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004

### 3.8.1 Energiekonzept

Das Konzept hat als Ziel den Passivhausstandard zu erreichen. Zudem wird ein Tageslichtkonzept entwickelt, um den Stromverbrauch zu minimieren. Es gibt zur Zeit nur Angaben zur thermischen Simulation. Eine hocheffiziente RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung wird installiert. Die passiven Solargewinne sollen maximiert werden. Die ersten Simulationen zeigten einen im Verhältnis zur Halle sehr hohen Energieverbrauch der Umkleiden und Waschräume.

	Volumen VL [m <sup>3</sup> ]	Anteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anteil	Heizwärmebedarf [kWh/a]	Anteil	Heizwärmebedarf/Fläche [kWh/m <sup>2</sup> a]	Heizwärmebedarf/Volumen [kWh/m <sup>3</sup> a]
Sporthalle	2781	34 %	427	23 %	5790	19 %	13,5	2,1
Vereinslokal	391	5 %	97	5 %	993	3 %	10,2	2,5
Foyer	1019	12 %	200	11 %	2900	10 %	14,5	2,8
Mehrzweck Sport OG	1054	13 %	252	14 %	641	2 %	2,5	0,6
Konditions-/Kraftraum	310	4 %	83	5 %	585	2 %	7,0	1,9
Waschräume	296	4 %	102	6 %	9793	32 %	95,9	33,1
Umkleiden	493	6 %	159	9 %	6036	20 %	37,9	12,3
Nebenräume	1907	23 %	517	28 %	3782	12 %	7,3	2,0
Summe:	8251	100 %	1838	100 %	30521	100 %	16,6	3,7

Abbildung 44: Heizenergiebedarf, Unterteilung nach Nutzungsbereichen, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004

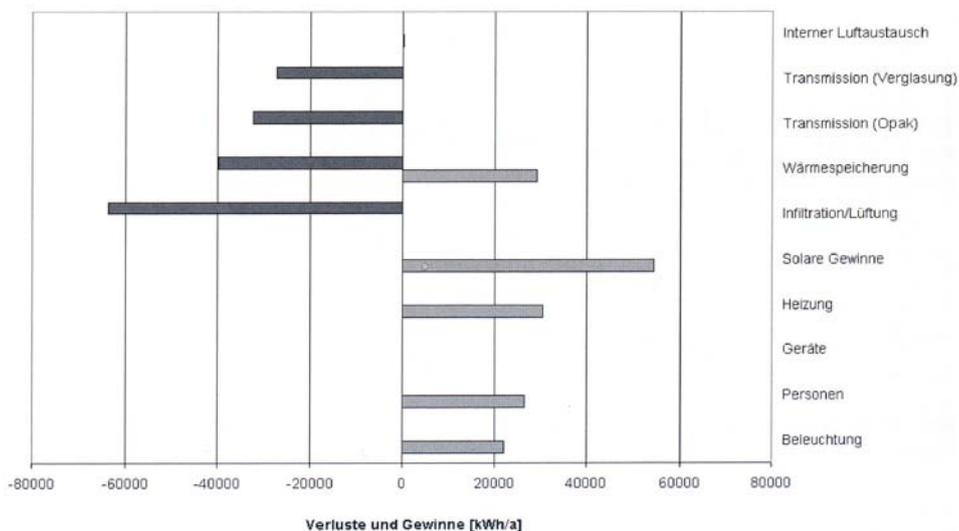


Abbildung 45: Heizenergiebilanz, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004

## 4 GRUNDLEGENDE ANALYSEN

### 4.1 GRUNDSTÜCKSANALYSE

#### 4.1.1 Gemeinde- und Ortsbeschreibung

Die Gemeinde Puconci liegt im nordöstlichen Teil Sloweniens, hat eine Fläche von 107,58 km<sup>2</sup>, besteht aus 23 Ortschaften und hat eine Gesamteinwohnerzahl von 6.483 Personen. Die Gemeinde wurde am 1.1.1995 gegründet und hat seit dem große Fortschritte, besonders in der Entwicklung der Infrastruktur gemacht. In der Gemeinde ist unter anderem Sport und die damit verbundenen Aktivitäten sehr stark verbreitet (in der Gemeinde gibt es 22 Kleinfußballvereine, einen Großfußballverein, einen Volleyballverein, einen Sportverein, der 9 verschiedene Sportarten vereinigt und einen Tischtennisverein, der zu den besten Tischtennisvereinen in Slowenien zählt und auch international sehr erfolgreich ist). Der renovierungsbedürftige Zustand der bestehenden Sporthalle und der Platzmangel führte in der Gemeinde zum Entschluss, eine neue Sporthalle zu bauen.

Neben der Gemeindeverwaltung bildet die Ortschaft Puconci auch ein gesellschaftliches Zentrum. Dieses wird gebildet durch die Schule, die von ca. 550 Kindern besucht wird, dem Kindergarten, der Kirche, der Firma Kema mit ca. 120 Beschäftigten und vor allem dem Kultursaal und der Sporthalle. Der Ort Puconci ist Zentrum des täglichen Geschehens nicht nur für die Gemeinde sondern auch für die umgebende Region.



**Abbildung 46:** Slowenien mit Lage von Puconci, Quelle: Ministerium für Umwelt und Raum, Agentur der Republik Slowenien für Umwelt

#### 4.1.2 Lage (Standortsituation)

Die Ortschaft Puconci liegt im Süden der Gemeinde im Auslauf der Landschaft Goričko und ist ca. 5 km Luftlinie von Murska Sobota entfernt.

#### 4.1.3 Geographische Daten

Meereshöhe:	202 m
Geographische Breite:	46°42'
Geographische Länge:	16°09'

#### 4.1.4 Umgebung (Bebauung, Flächennutzung, Widmung)

Puconci war nach dem zweiten Weltkrieg ein typisches ländliches Dorf in der sich die Bevölkerung großteils von der Landwirtschaft ernährt hat. Obwohl Puconci schon früher mit Kirche, Schule und Eisenbahnstation ein Mittelpunkt des Geschehens war, fand die bedeutendere Entwicklung der Ortschaft erst in den letzten Jahrzehnten, zusammen mit der Entwicklung der Wirtschaft und der Einwohnerzunahme statt.

Puconci ist eine relativ kompakte Siedlung mit Wohnbebauung, in Form von individuellen Einfamilienhäusern. Im Zentrum liegt die Evangelische Kirche, die Grundschule mit umliegenden Sportplätzen, das Gemeindehaus mit dem Bürgermeisteramt, der Kultursaal, eine Apotheke und eine Arztordination. Durch das Dorf fließt der Bach Puconski potok. Im Osten und im Süden ist das Dorf begrenzt durch landwirtschaftliche Flächen, im Westen durch die wiederbelebte Eisenbahn (Verbindung nach Budapest) und im Norden durch ein kleines Waldstück und einem Gewerbebereich.

Für die Errichtung der neuen Sporthalle ist ein Bereich in unmittelbarer Nähe der Grundschule im Zentrum des Dorfes vorgesehen.



Abbildung 47: Luftbild von Puconci, Quelle: Archiv Kema Puconci d.o.o.

#### 4.1.5 Wirtschaft

In den letzten Jahren entwickelte sich Puconci, aufgrund guter vorhandener Infrastruktur im Norden des Dorfes und guten Verkehrsverbindungen, zu einem interessanten Gewerbe- und Wirtschaftsstandort. Zu den bedeutendsten Gewerbe- und Wirtschaftsfaktoren im Dorf zählen heute:

Kema Puconci d.o.o.

Vigros d.o.o.

Benkotehna d.o.o.

Genossenschaft Gorički sad

Betonwerk Petelin d.o.o.

Saubermacher Puconci d.o.o.

Die Tätigkeitsbereiche dieser Firmen sind sehr verschieden und reichen von der Baustoffproduktion, über den Handel bis hin zur zentralen regionalen Müllsammelstelle und Deponierung. Diese Unternehmen garantieren der gesamten Gemeinde und den Nahe gelegenen Ortschaften viele Arbeitsplätze und der Gemeindekasse konstante Einnahmen.

Eine stabile Wirtschaft in der Gemeinde hat auch positive Auswirkungen auf das gesellschaftliche Leben der Gemeindebewohner und ihrer Aktivitäten. Besonders bemerkbar macht sich dies bei Sportvereinen, die sehr stark von der domizilansässigen Wirtschaft mitfinanziert werden.

#### 4.1.6 Verkehrssituation (Straßen, Verkehr, Parkplätze)

Direkt durch Puconci verlief noch vor ca. 20 Jahren die Hauptverkehrsverbindung für den zentralen Teil der Landschaft Goričko. Mit dem Ausbau von Straßeninfrastruktur hat sich das in den letzten Jahren stark verändert. Durch die Ortschaft verlaufen noch drei Hauptstraßen, die aber nur lokale innerdörfliche Siedlungen verbinden. Die Hauptstraße verläuft heute neben dem Dorf an der Westseite entlang der Eisenbahnstrecke. Im Dorf selbst gibt es ein dichtes und gut erhaltenes Verkehrsnetz. Schwertransportverkehr gibt es nur am Rande des Dorfes, aber durch das Dorf keinen. Obwohl in den letzten Jahren entlang der Hauptstraße Parkplätze errichtet wurden, ist die Parksituation im Bereich der Schule sehr schlecht. Parkplatzmangel führt zu Verkehrsbehinderungen an Tagen mit Großveranstaltungen, Sportereignissen oder während der Elternsprechstunden in der Schule. Aus diesem Grund hat die Gemeinde vor einem Jahr Parzellen an der Ostseite der Schule für die Parkplatzerrichtung in Folge des Ausbaus der neuen Sporthalle gekauft.

Die Zufahrt zum Schulkomplex befindet sich an der Ostseite der Schule, von einer der Hauptstraßen in Puconci.

#### 4.1.7 Fußgänger- und Fahrradverkehr

Quer durch den Schulkomplex verläuft der Hauptfußgängerweg, welcher die Südeinfahrt des Dorfes und das dort liegende Wohngebiet mit der Hauptstraße in Richtung Norden verbindet. Dort befinden sich einige infrastrukturelle Einrichtungen (Gemeindeamt, Arztpraxis, Kindergarten, Kirche, ...) des Dorfes und der Gemeinde. Diese Verbindung, die durch den Dorfpark führt, ist als Fuß- und Radweg ausgebildet.

#### 4.1.8 Bauparzellen für die Errichtung der 3-Feld Sporthalle

An der Nordseite der bestehenden Grundschule ist die Errichtung der neuen 3-Feld-Sporthalle vorgesehen. Teilweise wird sie auf dem Platz der alten Sporthalle stehen, die vor dem Neubau abgerissen wird. Die Errichtung ist auf den Bauparzellen Nr. 2037, 2038 und 2040 vorgesehen.

Die vorgesehenen Bauparzellen sind an der Ost- und Nordseite begrenzt durch Privatgrundstücke und Wohnbebauungen, an der Westseite durch bestehende offene Sportplätze und an der Südseite durch das Schulgebäude.



Abbildung 48: Puconci - Zentrum

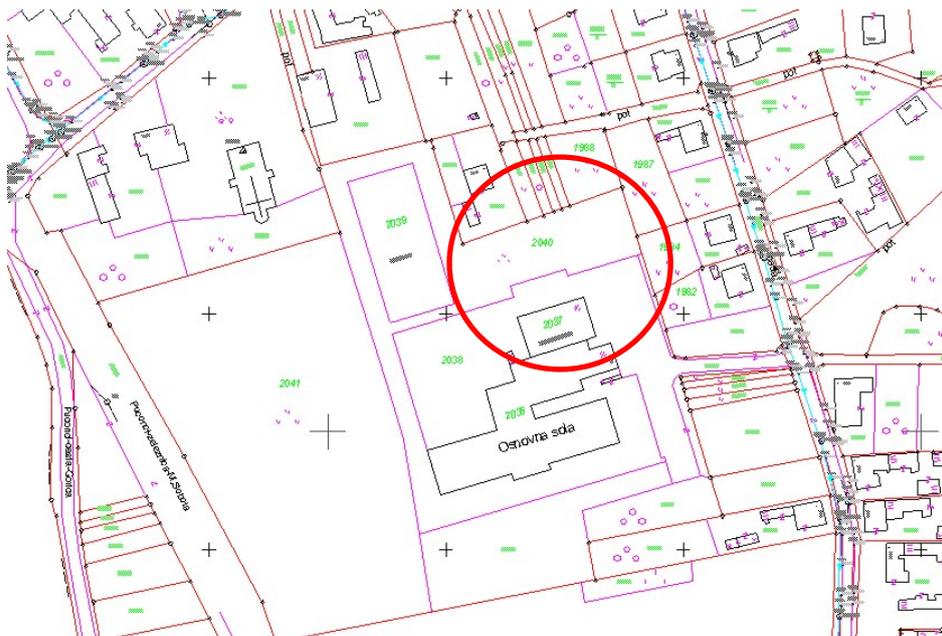


Abbildung 49: Bauparzellen

#### 4.1.9 Energieversorgung (derzeitige Versorgung)

##### Stromversorgung

Der vorgesehene Standort für die neue Sporthalle befindet sich in unmittelbarer Nähe bestehender Bebauungen und kann daher durch das öffentliche Stromnetz versorgt werden. Die Art der Anbindung an das öffentliche Elektrizitätsnetzwerk wird durch das Bauprojekt selbst bestimmt werden.

##### Wärmeversorgung

In Puconci gibt es zurzeit kein öffentliches Heiznetz. Es besteht die Möglichkeit der Anbindung des Heizsystems der neuen Sporthalle an das bestehende System der Grundschule unter der Voraussetzung, dass die Kapazität des bestehenden Systems

erweitert wird. Jedoch könnten durch massive Sanierungsmaßnahmen des bestehenden Schulgebäudes die bestehenden Kapazitäten vielleicht für beide Gebäude ausreichend sein.

#### Kälteversorgung

Zurzeit gibt es für den vorgesehenen Standort kein Kälteversorgungsnetz bzw. keine Anlage zur Kälteerzeugung in unmittelbarer Nähe.

#### 4.1.10 Wasserversorgung

Das neue Objekt kann an das öffentliche Wasserleitungsnetz anschließen. Das Wasser hat Trinkqualität und benötigt keine zusätzliche Aufbereitung.

#### Abwasserentsorgung

Das gesamte Dorf ist an ein relativ neues Abwassernetz angeschlossen. Die Abwässer werden in die vor kurzem errichtete Kläranlage geleitet, in der diese gereinigt und dann als sauberes Wasser in den Bach abgeleitet werden. Die vorgesehene Sporthalle kann daher an das bestehende Abwassernetz angeschlossen werden.

#### 4.1.11 Telekommunikation

Die bestehende Schule verfügt über eine Vielzahl an Kommunikationsleitungen (Telefon, Internet, Kabelfernsehen). Daher besteht hier die Möglichkeit auch die vorgesehene Sporthalle an die vorhandenen Leitungen anzuschließen.

#### 4.1.12 Lärm

Im Zentrum des Dorfes gibt es keine ständigen Lärmquellen. Zu erhöhten Lärmemissionen kommt es nur zeitweise, während größerer, vor allem sportlicher Veranstaltungen und diese werden vor allem durch das erhöhte Verkehrsaufkommen verursacht. Veranstaltungen in der Schule sowie die Ankunft und der Abfahrt der Schüler und Lehrer in der Früh und am Nachmittag verursachen mehrere Spitzen des Verkehrslärms während des Tages. Der Großteil der Schüler kommt mit den für sie organisierten Buslinien in die Schule.

#### 4.1.13 Geologische Daten

Der geotechnische Bericht der Anstalt für Geologie Ljubljana aus dem Jahr 1980 beschreibt die Zusammensetzung und die Tragfähigkeit des Bodens für den Bereich des Grundstückes, auf dem die neue Sporthalle gebaut werden soll. Der Grundwasserstand liegt in einer Tiefe von 2,00 m.

Für das Projekt sind auch die Erdtemperaturen aus verschiedenen Tiefen sehr interessant. Diese stammen aus dem meteorologischen Jahresbericht der Agentur der Republik Slowenien für Umwelt, Amt für Meteorologie. Die genaueren Daten sind unter Kapitel 4.2 angeführt.

#### 4.1.14 Brandschutz und Feuerwehrezufahrt

Im Ort Puconci gibt es eine Freiwillige Feuerwehr mit entsprechender Ausrüstung. Am Standort selbst befinden sich bereits Hydranten für die Schule. Die Hydrantenanzahl muß für den Neubau der Sporthalle je nach Anforderung erhöht werden. Die bestehende Feuerwehrezufahrt der Schule muss aus Sicherheitsgründen erhalten werden und kann in ähnlicher Form für den Sporthallenneubau fortgesetzt und ergänzt werden.

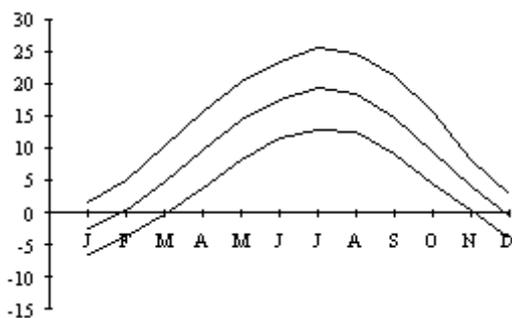
#### 4.1.15 Versorgungsmöglichkeiten

Laut Informationen des Gemeindeamtes ist eine Biogasanlage im Dorf geplant. Mit dieser Anlage soll Wärme- und Elektroenergie gewonnen werden. Die Anlage ist an der Nordseite der Ortschaft geplant und ca. 1.100 m Luftlinie von dem geplanten Standort der neuen Sporthalle entfernt. Die Sporthalle könnte sich u.U. im Fall der Errichtung auch an diese Energiequelle anschließen.

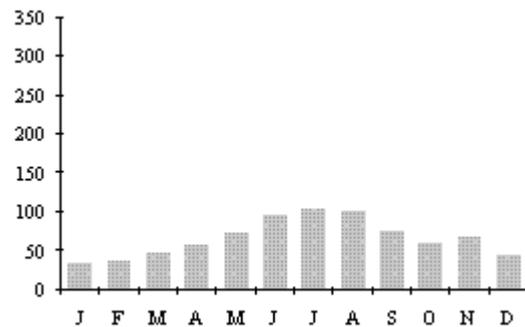
## 4.2 ANALYSE DES AUSSENKLIMAS

Nach der Klimaklassifikation von Troll und Paffen liegt in Puconci ein Waldklima der kühl gemäßigten Zone vor, welches als subozeanisch charakterisiert wird (Klimaregion III, 3).

Merkmale dafür sind Jahresschwankungen der Temperatur von 16-25°C, mäßig kalte Winter mit einer mittleren Temperatur im kältesten Monat zwischen +2 und -3°C, sowie ein sommerliches Niederschlagsmaximum [7].



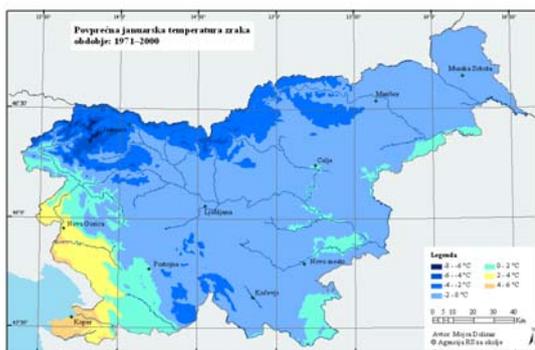
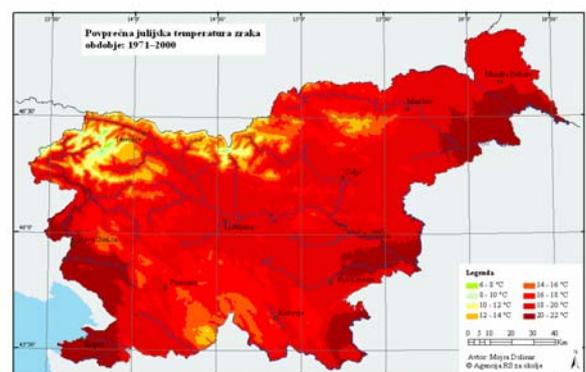
**Abbildung 50:** Lufttemperatur und Schwankungsbreite in °C



**Abbildung 51:** Niederschlag in mm

Die hier vorliegenden Klimadaten stammen von einer Messstation aus dem 5 km entfernten Murska Sobota. Das Klima in der Region ist dem Klima im Grazer Becken sehr ähnlich. Die Lufttemperatur in Murska Sobota liegt im Jahresmittel bei 9,2°C, in Graz liegt sie bei 9,4°C. Der mittlere Niederschlag in Murska Sobota liegt bei 814 mm im Jahr, in Graz liegt er bei 819 mm im Jahr. Die Niederschlagsverteilung weist in beiden Orten ihr Maximum im Juli auf, in Murska Sobota beträgt das Maximum 105 mm in Graz 125 mm. Auch die mittlere Sonnenscheindauer ist ähnlich, in Murska Sobota beträgt sie 1830 h/a in Graz 1890h/a [8].

	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Monatsmittel Temperatur	-2.3	0.5	4.8	9.7	14.5	17.6	19.2	18.3	14.7	9.3	4.1	-0.6	9.2
mittl. höchste Tagestemperatur	1.5	5.0	10.4	15.5	20.3	23.4	25.4	24.7	21.2	15.6	8.3	2.9	14.5
mittl. niedrigste Tagestemperatur	-6.4	-3.6	-0.3	3.8	8.1	11.6	12.9	12.4	9.2	4.4	0.4	-4.0	4.1
absolut höchste Temperatur	16.4	20.4	25.3	29.3	30.1	32.6	37.2	34.5	30.6	27.9	22.0	19.8	37.2
absolut niedrigste Temperatur	-31.0	-26.4	-23.7	-5.4	-4.2	-0.1	0.8	2.1	-3.5	-8.6	-	-	-31.0
Anzahl der Frosttage	27.9	21.6	15.9	4.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	5.2	13.5	25.0	114.5
Anzahl der Sommertage	0.0	0.0	0.0	0.5	4.1	11.4	17.9	14.9	5.2	0.1	0.0	0.0	54.1
mittl. relative Feuchtigkeit um 7. Uhr (%)	90.8	90.3	90.4	86.5	85.1	84.9	86.4	91.5	94.4	94.6	93.0	91.8	90.0
mittl. relative Feuchtigkeit um 14. Uhr (%)	77.0	67.6	57.0	52.8	53.4	54.9	53.3	55.4	58.9	63.2	72.7	78.2	62.1
durch. Dauer der Sonnenstrahlung (h)	58	86	136	172	220	225	261	237	177	136	72	51	1830
Anzahl der klaren Tage	3.1	3.8	3.9	4.2	4.5	3.9	6.6	6.9	5.4	4.5	2.7	2.0	51.4
Anzahl der Bewölkten Tage	16.2	12.7	11.6	9.8	8.0	8.0	5.4	5.5	7.0	9.3	15.1	16.0	124.5
Niederschlag (mm)	37	38	49	60	73	98	105	102	76	62	69	45	814
Anzahl der Tage mit Schneebedeckung	17.8	11.2	4.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	10.1	46.7
Anzahl der Tage mit Niederschlag >= 1.0 mm	6.2	5.9	7.0	7.8	9.4	10.6	9.6	9.1	7.5	6.4	7.6	6.5	93.5
Anzahl der Tage mit Gewitter und Donner	0.1	0.2	0.6	1.8	4.5	6.6	6.4	5.4	2.4	0.7	0.4	0.1	29.3
Anzahl der Tage mit Nebel	8.7	6.0	3.5	1.8	2.0	2.1	2.2	4.6	8.9	12.1	9.6	8.9	70.5

**Abbildung 52:** Klimadaten der Station Murska Sobota (1961-1990)

**Abbildung 53:** Monatsmittel der Lufttemperatur im Jänner

**Abbildung 54:** Monatsmittel der Lufttemperatur im Juli

#### 4.2.1 Vergleich von Testreferenzjahr und gemessenen Klimadaten

Für die Gebäudesimulation wurde mit dem Programm Meteonorm auf Basis der Klimadaten von Murska Sobota ein Testreferenzjahr (TRY) errechnet. Die zugrunde liegenden Daten stammen aus den Jahren 1960-1990 bzw. 1996-2005 und umfassen die Parameter Lufttemperatur, Taupunkt und Windgeschwindigkeit. Nicht gemessene Parameter wurden aus umliegenden Messstationen interpoliert.

Um die errechneten Werte des Testreferenzjahres auf Plausibilität zu überprüfen, wurden sie mit weiteren Klimadaten der Messstation Murska Sobota aus den Jahren 1961-1990 bzw. 1991-2000 verglichen.

##### Temperatur

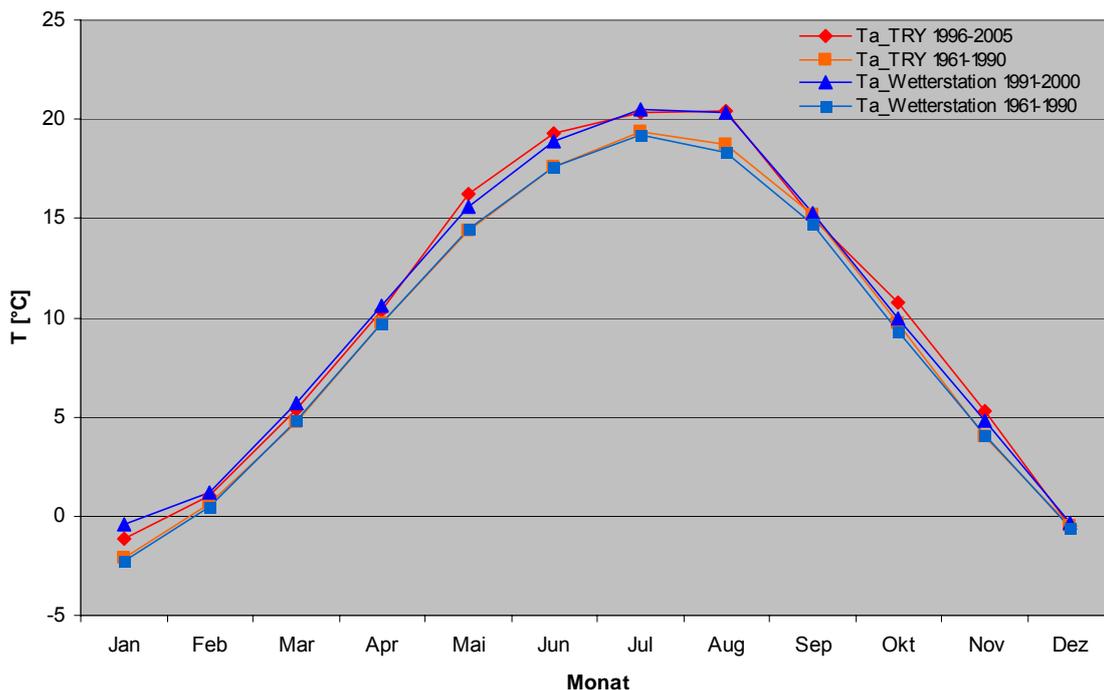


Abbildung 55: Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur

Man erkennt die gute Übereinstimmung der errechneten Werte ( $Ta_{TRY}$ ) eines Referenzzeitraums mit den gemessenen Werten ( $Ta_{Wetterstation}$ ). Die Mittelwerte aus dem Zeitraum 1961-1990 liegen etwa 1-2°C über denen aus dem Zeitraum 1996-2005. Im Hinblick auf die sich global abzeichnende Klimaerwärmung haben wir uns dazu entschieden das Testreferenzjahr, welches auf den Daten aus den Jahren 1996-2005 basiert, in der Gebäudesimulation zu verwenden.

Monat	Testreferenzjahr (TRY)		Wetterstation Murska Sobota	
	Basis 1996-2005	Basis 1961-1990	1991-2000	1961-1990
Jan	-1,1	-2,1	-0,4	-2,3
Feb	1,0	0,6	1,2	0,5
Mar	5,4	4,7	5,7	4,8
Apr	10,4	9,7	10,6	9,7
Mai	16,2	14,4	15,6	14,5
Jun	19,3	17,6	18,9	17,6
Jul	20,3	19,4	20,5	19,2
Aug	20,4	18,7	20,3	18,3
Sep	15,0	15,2	15,3	14,7
Okt	10,8	9,7	10,0	9,3
Nov	5,3	4,0	4,8	4,1
Dez	-0,5	-0,5	-0,3	-0,6
Jahr	10,2	9,3	10,2	9,2

Abbildung 56: Monatsmittel der Lufttemperaturen in °C

Neben den Monatsmittelwerten wurden auch die Extrema der Tagesmittelwerte und die Extrema der Stundenwerte der Lufttemperatur verglichen (vgl. **Abbildung 57** bis **Abbildung 60**).

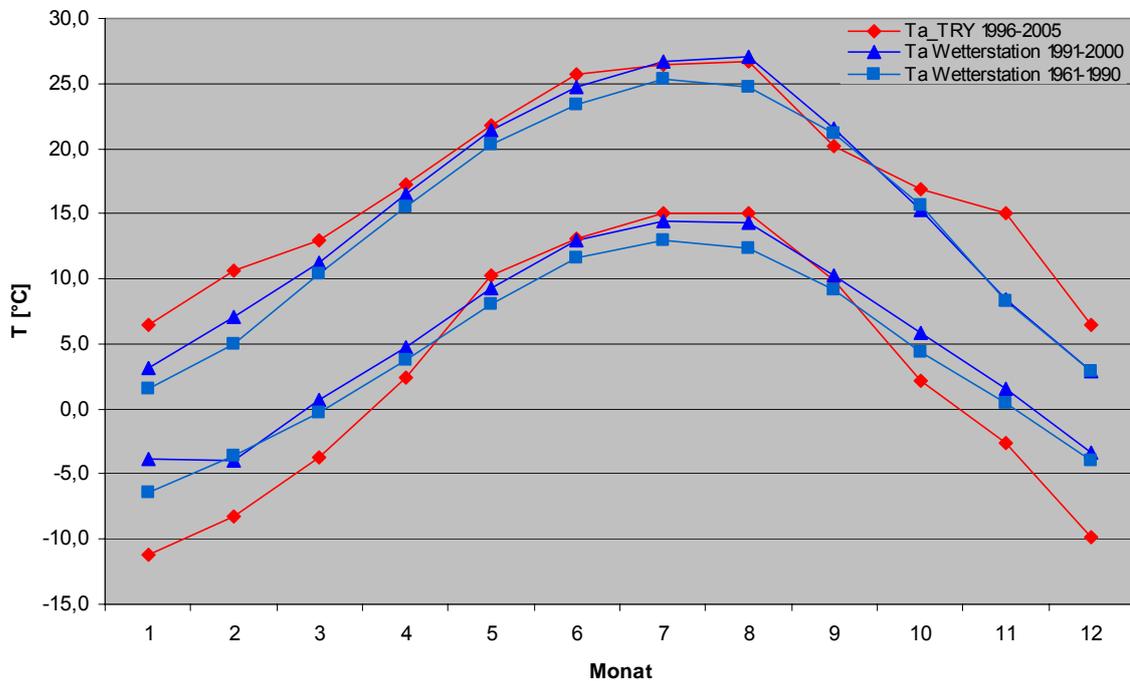


Abbildung 57: Extrema der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur

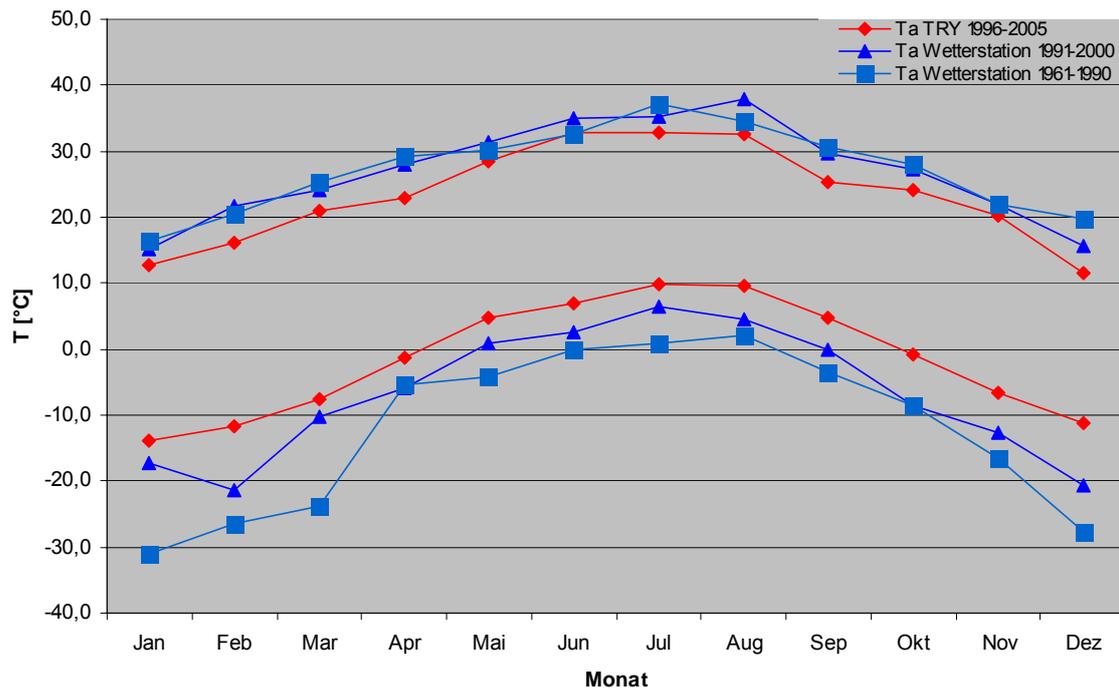


Abbildung 58: Extrema der Stundenwerte der Lufttemperatur

Monat	Testreferenzjahr (TRY)		Wetterstation Murska Sobota			
	Basis 1996-2005		1991-2000		1961-1990	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
Jan	6,4	-11,2	3,2	-3,8	1,5	-6,4
Feb	10,6	-8,3	7,1	-4,0	5,0	-3,6
Mar	12,9	-3,7	11,3	0,7	10,4	-0,3
Apr	17,3	2,4	16,5	4,7	15,5	3,8
Mai	21,8	10,3	21,4	9,3	20,3	8,1
Jun	25,7	13,1	24,7	13,0	23,4	11,6
Jul	26,4	15,0	26,7	14,4	25,4	12,9
Aug	26,7	15,1	27,1	14,3	24,7	12,4
Sep	20,2	9,9	21,6	10,3	21,2	9,2
Okt	16,9	2,2	15,3	5,9	15,6	4,4
Nov	15,1	-2,6	8,4	1,6	8,3	0,4
Dez	6,5	-9,9	2,9	-3,3	2,9	-4,0
Jahr	26,7	-11,2	27,1	-4,0	25,4	-6,4

Abbildung 59: Extrema der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur in °C

Monat	Testreferenzjahr (TRY)		Wetterstation Murska Sobota			
	Basis 1996-2005		1991-2000		1961-1990	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
Jan	12,8	-13,9	15,2	-17,3	16,4	-31
Feb	16,1	-11,7	21,7	-21,3	20,4	-26,4
Mar	21,0	-7,6	24,0	-10,2	25,3	-23,7
Apr	23,0	-1,2	27,9	-5,8	29,3	-5,4
Mai	28,4	4,7	31,4	0,9	30,1	-4,2
Jun	32,8	6,9	35,0	2,5	32,6	-0,1
Jul	32,9	9,8	35,2	6,5	37,2	0,8
Aug	32,6	9,6	37,9	4,6	34,5	2,1
Sep	25,4	4,8	29,6	0,0	30,6	-3,5
Okt	24,2	-0,8	27,2	-8,5	27,9	-8,6
Nov	20,2	-6,5	21,9	-12,6	22,0	-16,6
Dez	11,6	-11,2	15,7	-20,7	19,8	-27,6
Jahr	32,9	-13,9	37,9	-21,3	37,2	-31

Abbildung 60: Extrema der Stundenwerte der Lufttemperatur in °C

Abbildung 61 zeigt monatsmittlere Tagesgänge der Lufttemperatur auf Basis der Daten des Testreferenzjahres.

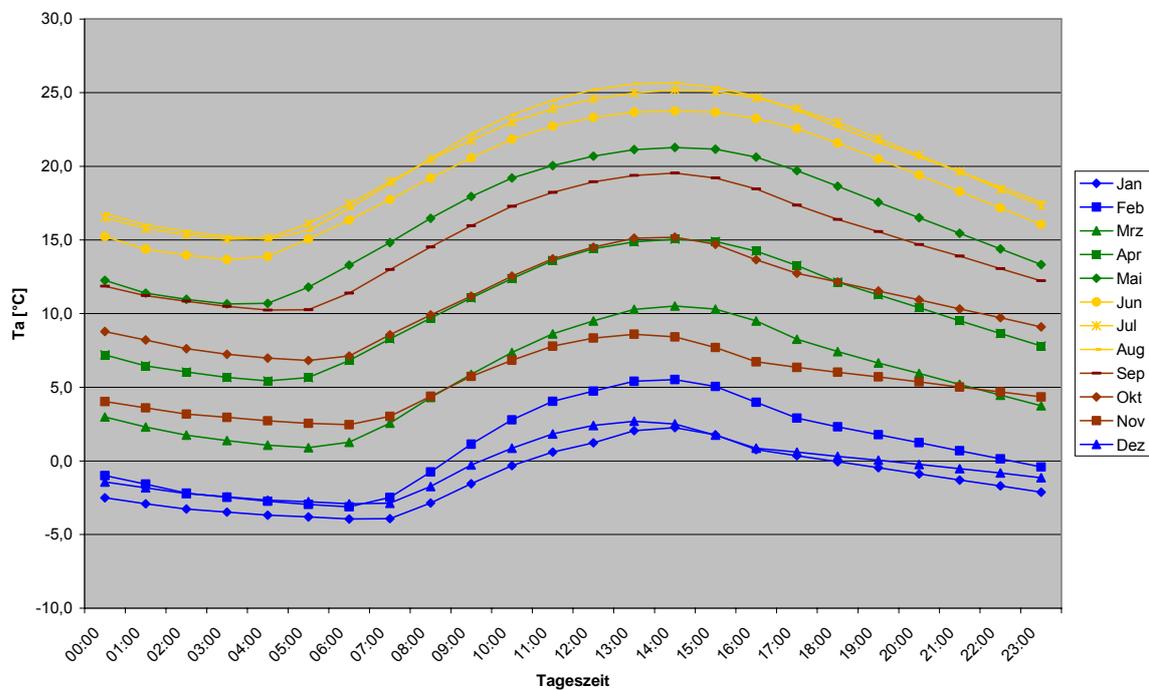


Abbildung 61: Tagesgang der Lufttemperatur

### Sonneneinstrahlung

Um die Plausibilität der Strahlungsdaten zu überprüfen wurden die Monatssummen der Globalstrahlung des Testreferenzjahres mit den Globalstrahlungsdaten der Messstation Murska Sobota aus dem Jahr 2005 verglichen. Die Globalstrahlung ist die Summe aus direkter und diffuser Strahlung bezogen auf eine horizontale Empfangsfläche. Die Monatssumme der Globalstrahlung gibt die Energie an, die in einem Monat auf eine horizontale Fläche fällt.

Auch hier zeigt sich eine Übereinstimmung zwischen gemessenen und interpolierten Daten.

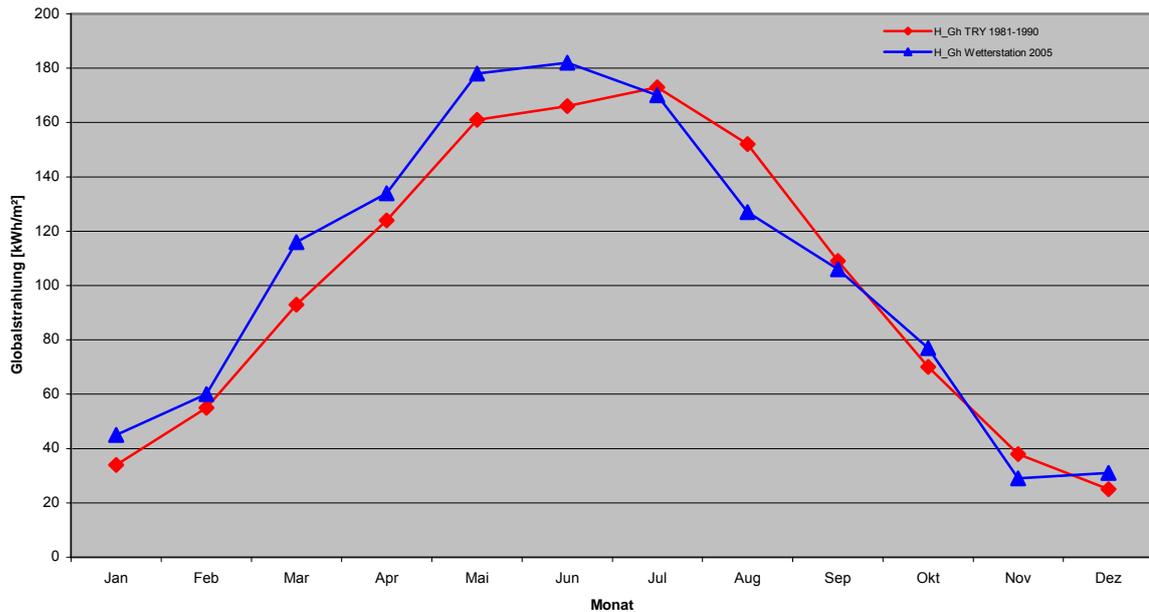


Abbildung 62: Monatssummen der Globalstrahlung

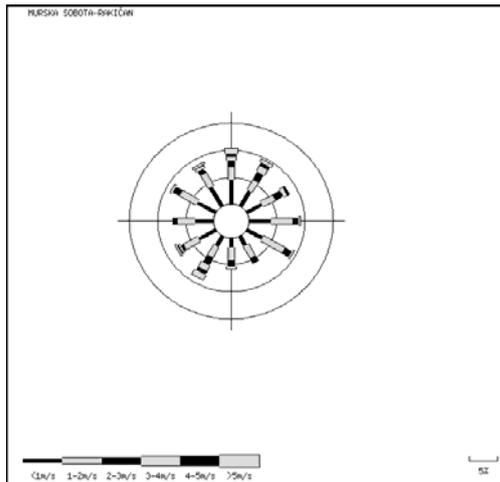
Monat	Testreferenzjahr TRY) Basis 1981-1990	Wetterstation Sobota	Murska 2006
Jan	34		45
Feb	55		60
Mar	93		116
Apr	124		134
Mai	161		178
Jun	166		182
Jul	173		170
Aug	152		127
Sep	109		106
Okt	70		77
Nov	38		29
Dez	25		31
Jahr	1197		1210

Abbildung 63: Monatssummen der Globalstrahlung in kWh/m<sup>2</sup>

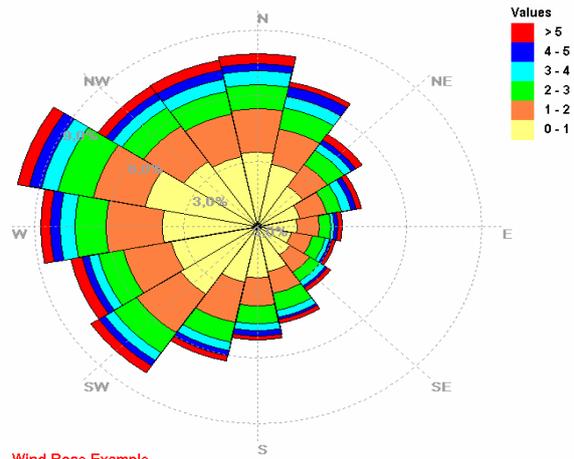
## Wind

Die Windrose in **Abbildung 64** basiert auf Daten der Klimastation Murska Sobota aus den Jahren 1994-2003. Die Windgeschwindigkeit liegt im Jahresmittel zwischen 1 und 2 m/s und ist damit sehr gering. Es ist keine vorherrschende Windrichtung ausgeprägt, der Wind ist beinahe gleich über alle Himmelsrichtungen verteilt.

Das Testreferenzjahr (**Abbildung 65**) zeigt ebenfalls keine vorherrschende Windrichtung, auch wenn hier der Wind tendenziell häufiger aus dem nordöstlichen Quadranten kommt. Die mittlere Windgeschwindigkeit stimmt gut mit den gemessenen Werten überein.



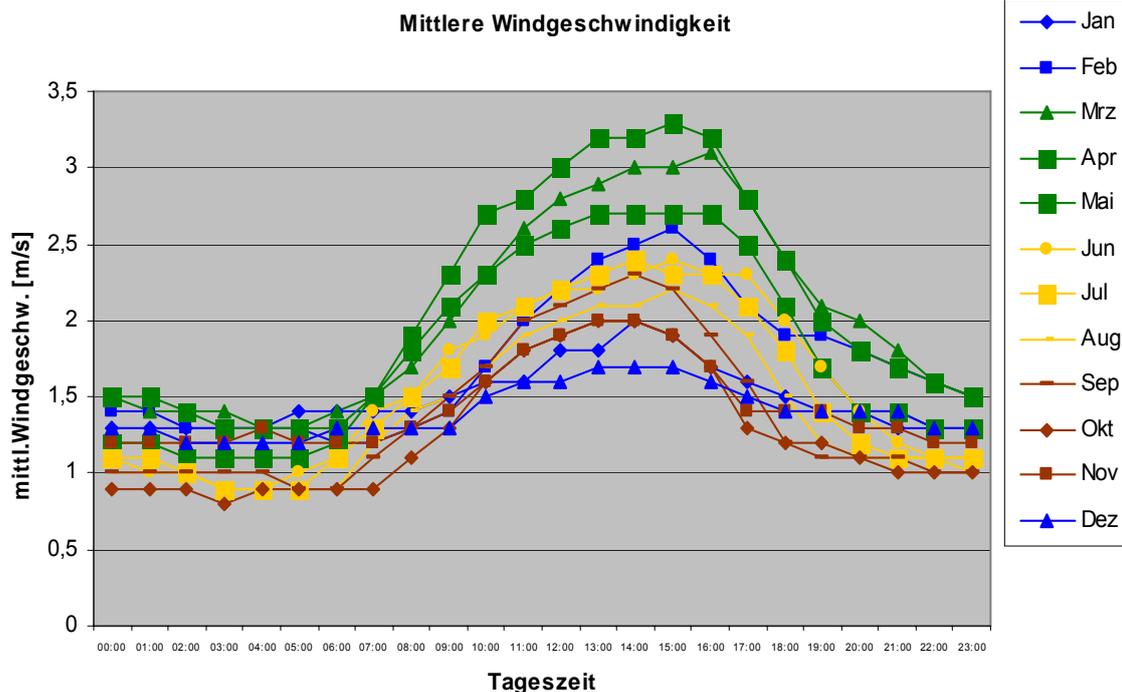
**Abbildung 64:** Windrose Station Murska Sobota (1994-2003)



**Abbildung 65:** Windrose Testreferenzjahr

Im Tagesverlauf sieht man, dass die Windgeschwindigkeit am Tag größer als in der Nacht ist. Sie erreicht ihr Maximum am Nachmittag, zwischen 13:00 und 16:00 und ihr Minimum in den frühen Morgenstunden, zwischen 3:00 und 5:00.

Im Jahresverlauf ist der Wind in den Monaten März bis April am stärksten.



**Abbildung 66:** Tagesgang der Windgeschwindigkeit

### 4.3 POTENTIAL REGENERATIVER ENERGIEN

#### Sonnenenergienutzung

Für dieses Projekt sind vor allem drei Formen der Sonnenenergienutzung relevant: passive Wärmenutzung, solarthermische Sonnenenergienutzung und photovoltaische Stromerzeugung.

Anlagen zur solarthermischen Wärmenutzung bestehen üblicherweise aus Kollektor, Wärmetransportsystem und Wärmespeicher. Die solare Strahlungsenergie wird im Kollektor in Wärme umgewandelt und dann über das Wärmetransportsystem in den Speicher eingespeist. In Gebäuden werden solarthermische Anlagen hauptsächlich zur Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung eingesetzt. Sie können aber auch zur solaren Kühlung verwendet werden.

Der Anteil der Energie zur Warmwasserbereitung am Gesamtenergiebedarf ist bei energieeffizienten Sporthallen relativ hoch. Gerade in diesem Bereich können mit solarthermischen Anlagen relativ hohe Deckungsgrade erreicht werden.

Die optimale Ausrichtung des Kollektors richtet sich nach der Anwendung. Bei solaren Kombisystemen ist eine  $45^\circ$  Neigung zu empfehlen. Bei einer gesamten Kollektorfläche von  $150 \text{ m}^2$ , einer jahresmittleren Einstrahlung auf die Kollektorfläche von  $1.380 \text{ kWh/m}^2$  und einem Systemnutzungsgrad von 15% ergibt sich eine nutzbare Solare Wärme von ca.  $30.000 \text{ kWh/a}$  [9].

Bei der passiven Sonnenenergienutzung werden Teile der Gebäudehülle als Kollektor und Teile der Gebäudekonstruktion als Speicher genutzt. Auf ein zusätzliches Wärmetransportsystem kann in der Regel verzichtet werden (siehe Kapitel 2.3.5).

Bei einer angenommenen Glasfläche an der Südfassade von  $100 \text{ m}^2$  und einem g-Wert von 0,5 ergibt sich über die Heizperiode ein Energieeintrag von  $18.000 \text{ kWh}$ . Bei einem Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne von 0,85 beträgt die nutzbare solare Wärme etwa  $6 \text{ kWh/m}^2$  [10].

Systeme mit transparenter Wärmedämmung besitzen im Vergleich mit Dreifachverglasungen etwas geringere Gesamtenergiegraden, aber dafür wird die Wärme phasenverschoben an den Raum abgegeben, was den Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne erhöht.

Bei der photovoltaischen Stromerzeugung wird die Solarstrahlung in Halbleiterzellen direkt in elektrische Energie umgewandelt. Um den Energieertrag über das ganze Jahr zu maximieren, sollte die Kollektorfläche etwa  $30^\circ$  geneigt nach Süden ausgerichtet werden. Wird das gesamte Hallendach mit einem Flächennutzungsgrad von  $\frac{1}{4}$  zur photovoltaischen Stromerzeugung genutzt beträgt die Kollektorfläche ca.  $500 \text{ m}^2$ . Bei einem Wirkungsgrad der Zellen von 16% und einem Wirkungsgrad des Wechselrichters von 85% beträgt der jährliche Energieertrag ca.  $95.000 \text{ kWh}$  [11].

Die neue Turnhalle soll in einem Abstand von ca. 10 bis 15 m nördlich des bestehenden Schulgebäudes errichtet werden. Kollektorflächen müssen in ausreichender Höhe angebracht werden, um einer Verschattung durch das Nachbargebäude zu vermeiden. Insbesondere photovoltaische Anlagen reagieren sehr sensibel auf Beschattung.

Ansonsten befinden sich keine weiteren Beschattungsobjekte am Grundstück. Wird die Halle parallel zur Grundstücksgrenze ausgerichtet, kann man in den Sommermonaten auch direktes Sonnenlicht an der Nordfassade nutzen.

Globalstrahlung auf geneigte Flächen

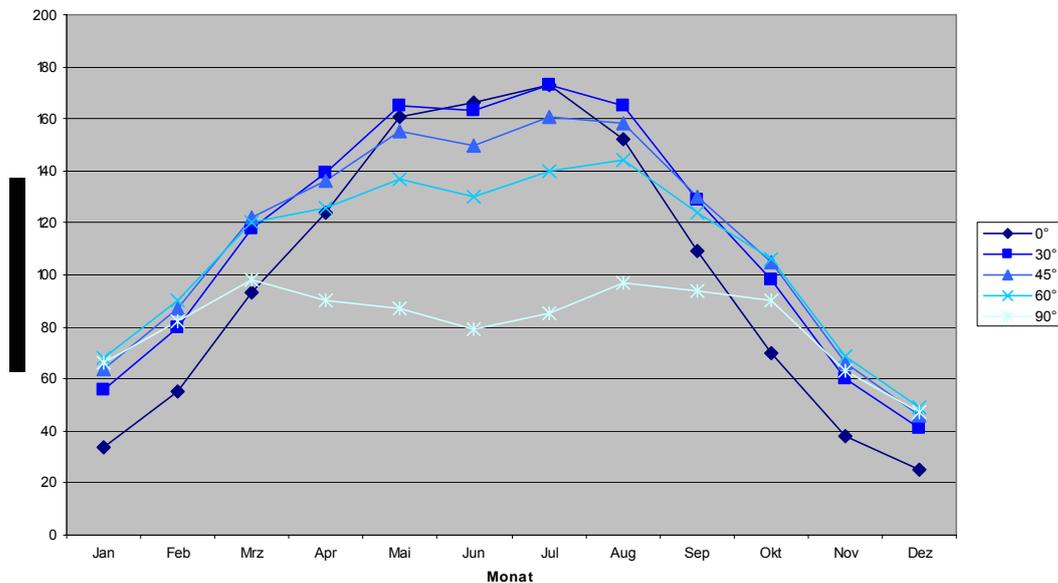


Abbildung 67: Globalstrahlung auf unterschiedlich geneigte Flächen

### Windenergienutzung

Die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit liegen zwischen 1,3 und 2,1 m/s. Das entspricht laut der Klassifizierung nach Beaufort einem leisen Zug (Windrichtung nur am Rauch erkennbar) bzw. einem leichten Wind (Wind fühlbar, Blätter säuseln). Damit ist der Standort für eine direkte energetische Nutzung der Windkraft nicht geeignet.

### Nutzung der Umgebungsluft

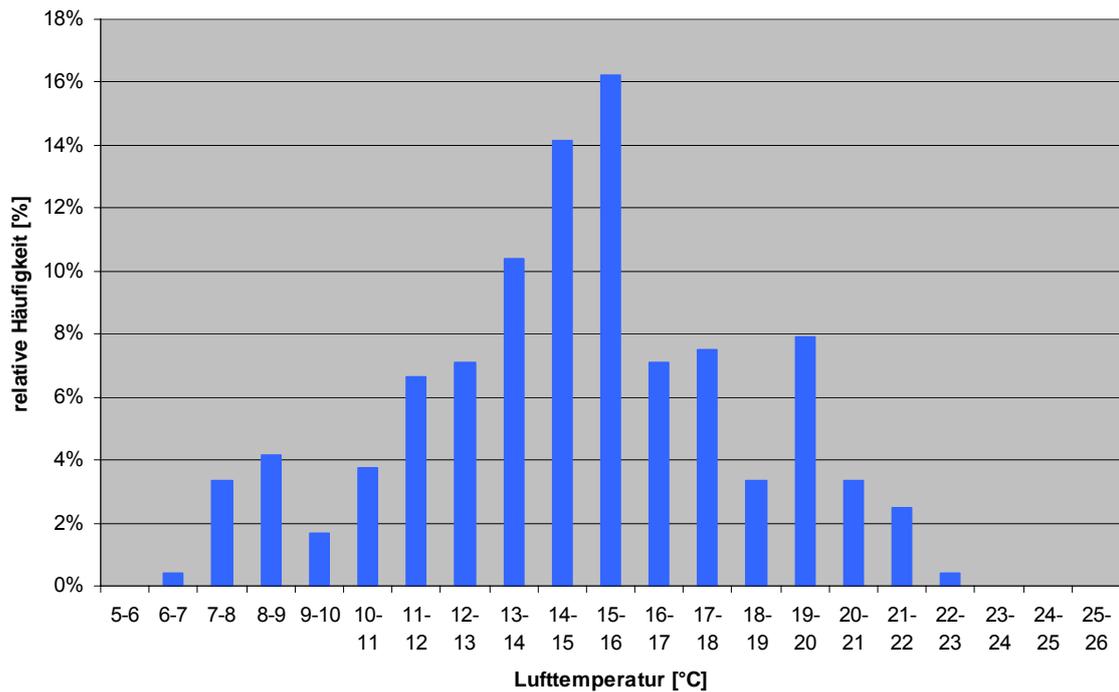
Die Umgebungsluft kann im Wesentlichen auf zwei Arten genutzt werden. Zum einen als Wärmequelle zur Heizung und Warmwasserbereitung und zum anderen als Wärmesenke zur nächtlichen Kühlung im Sommer.

Durch den Einsatz einer Wärmepumpe kann Umgebungswärme zur Heizung und Warmwasserbereitung genutzt werden. Allerdings weist die Außenluft im Winter in der Regel eine sehr große Temperaturdifferenz zur Vorlauftemperatur auf und ist daher keine optimale Wärmequelle zur Raumheizung. Diese Variante wird daher hier nicht weiter verfolgt [9].

Ist die Summe der inneren und äußeren Wärmelast unter  $150 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{d}$ , so kann man diese in der Regel durch ein geeignetes Lüftungskonzept in den Griff bekommen.

Um mit Nachtpülung effektiv kühlen zu können, sollte die Lufttemperatur in der Nacht für mindestens 5 Stunden unter  $21^\circ\text{C}$  liegen [12].

In **Abbildung 68** sieht man, dass 94% der Stundenwerte der Nachttemperatur in den Sommermonaten unter  $20^\circ\text{C}$  liegen. Unter der Voraussetzung, dass die Wärmelast durch solare Einträge nicht zu hoch wird und ausreichend thermische Speichermasse vorhanden ist, dürfte eine passive Kühlung durch die Umgebungsluft ausreichend sein.



**Abbildung 68:** Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur in den Monaten Juni bis August in der Nacht (0:00-7:00)

Durch Verdunstungskühlung kann die Kühlleistung ohne großen Energieaufwand gesteigert werden. Das ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn die Außenluft warm und trocken ist. Am Standort sind diese Bedingungen nicht gegeben. Die relative Luftfeuchtigkeit in einer typischen Sommernacht liegt zwischen 80 und 90% [12].

### Nutzung der oberflächennahen Erdwärme

Das oberflächennahe Erdreich kann durch Einsatz einer Wärmepumpe als Wärmequelle zum Heizen und zur Warmwasserbereitung dienen. Die Temperatur des Erdreichs ist im Vergleich zur Umgebungsluft im Winter um ein paar Grad Celsius wärmer. Damit ist das Erdreich als Wärmequelle zum Heizen besser geeignet als die Umgebungsluft. Oberflächennahe Erdwärme ist, im Gegensatz zur echten geothermischen Energie, hauptsächlich gespeicherte Sonnenenergie. Die mögliche Entzugsleistung hängt von der Beschaffenheit des Bodens und den angestrebten Volllaststunden ab.

Der Boden am Standort besteht aus wasserführendem Sand bzw. Kies. Der Grundwasserspiegel liegt in einer Tiefe von etwa 2m. Daraus ergibt sich eine spezifische Wärmeleistung von etwa 55-80 W/m bei Erdwärmesonden und 30-40 W/m<sup>2</sup> bei horizontal verlegten Erdreichwärmeüberträgern. Erdsonden können auch bivalent betrieben werden, also zum Kühlen im Sommer und zum Heizen im Winter [9].

Bei einer Heizlast von 40 kW ergibt sich für Erdwärmesonden eine Gesamtlänge von ca. 600 m. Bei Sondenlängen von 50 m und einem Mindestabstand von 5 m zwischen zwei Sonden entspricht das einer Grundfläche von ca. 150 m<sup>2</sup>. Bei horizontalem Wärmeüberträger ergibt sich eine notwendige Grundfläche von ca. 1.200 m<sup>2</sup>.

Eine weitere Form der oberflächennahen Erdwärmennutzung ist die Vorkonditionierung der Außenluft durch Erdregister. Die Außenluft wird dabei durch ein unterirdisches Kanalsystem dem Gebäude zugeführt. Dabei wird die Luft im Sommer vorgekühlt, und im Winter vorgewärmt. Um einen ausreichenden Temperaturunterschied zur Außenluft zu erhalten, ist eine Verlegetiefe von 2-4 m anzustreben [12].

Der Grundwasserspiegel liegt in einer Tiefe von ca. 2 m. Eine Verlegung im Grundwasser verbessert den Wärmeübergang, erfordert allerdings einen relativ hohen Aufwand für Abdichtungsarbeiten. Um dem zu entgehen, könnte man die Erdregister oberhalb des Grundwasserspiegels verlegen und mit Aushubmaterial überschütten.

Bei den vorliegenden Klimabedingungen erreicht man mit einem 30 m langen Rohr bei einer Verlegetiefe von 2,5 m und einem Rohrdurchmesser von 20 cm bei einer Außenlufttemperatur von 25-30°C eine Abkühlung der Luft auf etwa 17-19°C. Der Luftvolumenstrom beträgt dabei 250 m<sup>3</sup>/h [12].

Im Winter erreicht man mit diesem System je nach Außenlufttemperatur eine Aufwärmung von etwa 5 bis 15°C.

Um den erforderlichen Luftwechsel von ca. 5.500 m<sup>3</sup>/h zu erfüllen, wären in diesem Fall 22 Rohre notwendig, was bei einem minimalen Rohrabstand von 1 m auf eine notwendige Grundfläche von 660 m<sup>2</sup> führt.

Südwestlich der Turnhalle befindet sich der 1.800 m<sup>2</sup> große Pausenhof, der sich grundsätzlich für eine Erdwärmennutzung eignen würde. Nördlich, östlich und westlich der Halle steht jeweils ein ca. 10 m breiter Streifen zur Verfügung. Bei der Verwendung von Luftkanälen ist jedoch zu beachten, dass der Widerstand der Kanäle mit der Anzahl der Bögen ansteigt.

## 5 ANFORDERUNGEN AN DIE SPORTHALLE IN PUCONCI

### 5.1 PLANUNGSZIEL SPORTHALLE PUCONCI

Die Bemühungen um die Errichtung einer neuen Sporthalle in Puconci existieren schon sehr lang. Steigende sportliche Aktivität der Gemeindebewohner, der Trend zur Bewegung in allen Altersklassen, veränderte Anforderungen an den Schulunterricht und letztendlich auch herausragende sportliche Resultate einiger in der Gemeinde ansässiger Sportvereine, haben dazu beigetragen, dass die Realisierung der geplanten Sporthalle in nahe Zukunft gerückt ist.

Mit dem neuen Objekt will man alle Anforderungen des Schulunterrichts, der gemeindeansässigen Sportvereine und Vereinigungen erfüllen. Abwechslungsreicher und qualitätsvoller Sportunterricht, gute Trainingsbedingungen für Kleinfußball, Volleyball, Tischtennis, Hallenhockey, die Austragung von höchsten nationalen und teilweise internationalen Tischtenniswettkämpfen sollen ermöglicht werden. Dies sind Grundplanungsziele, die bei der Errichtung der Sporthalle erreicht werden sollen. Natürlich sollten auch andere Sportarten, die zurzeit in der Gemeinde nicht stark vertreten sind, wie zum Beispiel Basketball und verschiedene Hallentrendsportarten gute Übungsbedingungen vorfinden. In einem sehr geringen Ausmaß, ca. vier Mal pro Jahr, sollten auch andere gesellschaftliche Veranstaltungen mit höherer Besucherzahl in der Halle stattfinden. Die Tribünen sollten für ca. 400 Zuschauer ausgelegt werden. Die Standortgegebenheiten sind für den Entwurf der neuen Sporthalle sehr wichtig und es sollte vor allem viel Rücksicht auf die Ortsbewohner genommen werden, da diese den Ort jetzt schon intensiv nutzen. Auch die unmittelbare Nähe der bestehenden Grundschule und der alten evangelischen Kirche prägen den Standort. Die direkte räumlich geschlossene Anbindung an die Schule ist notwendig, so wie die Erhaltung des Schulplatzes und der Interventionszufahrt.

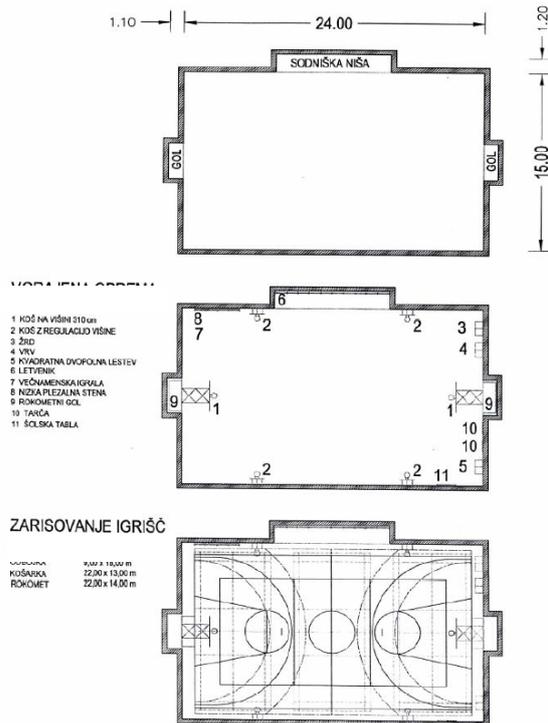
Die Dreifeldsporthalle, die Tischtennishalle und das Studio (Tanzen, Kinderübungen, usw.), sollten genügend Umkleideplätze mit Waschräumen haben. Geräteräume und andere begleitende Räume sollten Standarddimensionen haben. Die Halle muss behindertengerecht geplant sein. Das Cafe sollte den Besuchern und den Benutzern Möglichkeit geben, Erfrischungsgetränke und kleine Imbisse zu kaufen.

Da die Energiekosten jährlich steigen (nicht nur in der Gemeinde) und weil öffentliche Bauten solchen Typus hervorragende Vorbildwirkung haben, hat sich die Gemeinde dazu entschieden, eine Niedrigenergiesporthalle zu errichten. Das Ziel ist es, ein Pilotprojekt zu entwickeln, das mit neuesten Erfahrungen und Erkenntnissen auf dem Gebiet Energieeffizienz und erneuerbarer Energien, energieeffizienter Anlagentechnik und Architektur, überregionale Maßstäbe setzt. Damit will die Gemeinde ein neues Kapitel in ihrer Entwicklung beginnen mit Betonung auf Energieeffizienz, Ausnutzung von erneuerbaren Energien und nachhaltigem Umgang mit der Umwelt. Mit einer ambitionierten Planung, in der die Wissenschaft und die Industrie eingebunden wird, will man neue Impulse für die Entwicklung der lokalen Wirtschaft setzen.

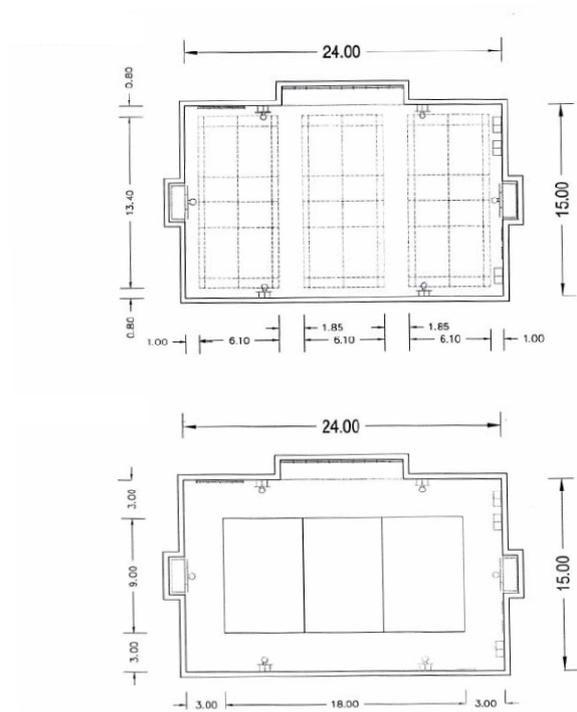
Mit der neuen Sporthalle sollen so nicht nur neue Flächen für die Sportbetätigung entstehen, sondern auch ein Praxisbeispiel für ein zukunftsweisendes Sporthallenkonzept mit dem Schwerpunkt Energieeffizienz und Ausnutzung erneuerbarer Energien.

#### 5.1.1 Gebäudeform

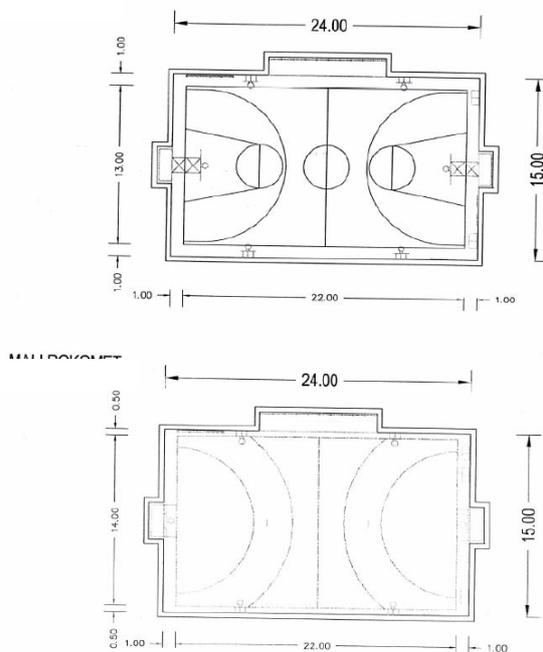
Die Form einer Sporthalle wird durch die Proportionen der Spielfelder bestimmt. Hier gibt es genaue Vorgaben für Schulsport und wettkampfmäßige Sportarten. Die Dimensionen für Wettkampfsportflächen und -höhen variieren je nach Liga [22].



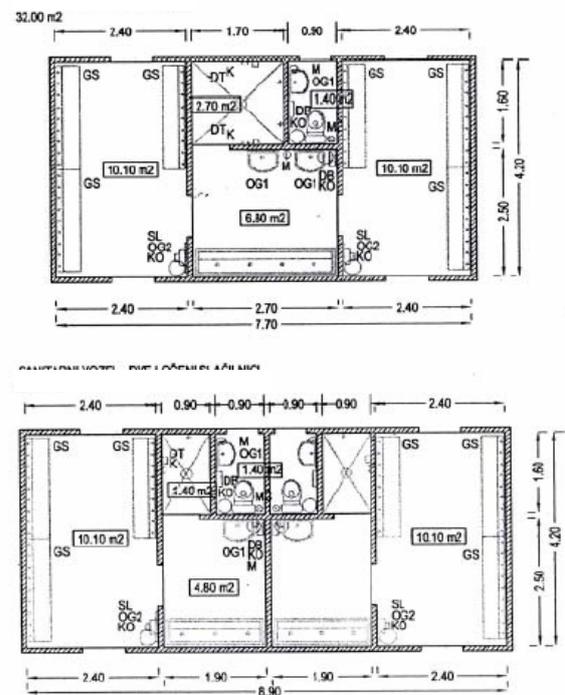
**Abbildung 69:** Grundübungsraum (OVP) für Grundschule, Dimensionen, eingebaute Ausrüstung, anreißen der Spielfelder, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007



**Abbildung 70:** Grundübungsraum (OVP) für Grundschule, Dimensionen, eingebaute Ausrüstung, anreißen der Spielfelder Badminton, Volleyball, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007



**Abbildung 71:** Grundübungsraum (OVP) für Grundschule, Dimensionen, eingebaute Ausrüstung, anreißen der Spielfelder Basketball, Handball klein, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007



**Abbildung 72:** Sanitärknoten für Grundschule, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007

### 5.1.2 Bedarfsermittlung

Die benötigte Anzahl von Übungsräumen, die vom Ministerium für Schule und Sport mitfinanziert werden, wird bestimmt anhand von folgenden Tabellen (Anweisungen für den Schulunterricht für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007).

Die Grundschule in Puconci hat derzeit 18 Klassen, was bedeuten würde, dass nur 2 Übungsräume mitfinanziert werden. Da aber demografische Statistiken zeigen, dass sich die Anzahl der Kinder und damit auch die Klassenanzahl schon im Jahr 2009 erhöhen wird, wurden bei der Berechnung 21 Klassen berücksichtigt und damit 3 Übungsräume gewählt.

Bei der Anzahl der Übungsräume muss auch auf den Bedarf für die gemeindeansässigen Sportvereine Rücksicht genommen werden. Die Bedürfnisse der Sportgemeinschaften weisen klar auf den Bedarf einer Dreifeldsporthalle hin und darum ist die Wahl einer solchen Sporthalle unumstritten.

SCHULE		1. BIS 5. KLASSE			6. BIS 9. KLASSE			ÜBUNGSRaum		
Anz. von Klassen	Anz. von Kindern	Anz. von Klassen	Anz. von EG	Stundenzahl /Woche	Anz. von Klassen	Anz. Von Übungsgr.	Stundenzahl /Woche	Zusammen St./Woche	Übungsraum	Wahl
	PO 28		Einh. Gr.	3 St./Woche		20 Kinder	3 St./Woche			
3	84	3	3	9				9,00	0,30	1 MÜR
6	168	5	5	15	1	1,4	4,2	19,20	0,64	1
9	252	5	5	15	4	5,6	16,8	31,80	1,06	1
12	336	7	7	21	5	7	21	42,00	1,40	2
15	420	8	8	24	7	9,8	29,4	53,40	1,78	2
18	504	10	10	30	8	11,2	33,6	63,60	2,12	2
21	588	12	12	36	9	12,6	37,8	73,80	2,46	3
24	672	14	14	42	10	14	42	84,00	2,80	3
27	756	15	15	45	12	16,8	50,4	95,40	3,18	3
30	840	16	16	48	14	19,6	58,8	106,80	3,56	4
33	530	18	18	54	15	21	63	117,00	3,90	4
36	1008	20	20	60	16	22,4	67,2	127,20	4,24	4

**Abbildung 73:** Beispiel der Errechnung der benötigten Anzahl der Übungsräume für die Grundschule, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007

RAUM		MÜR	GÜR	1 ÜR	PB	2 ÜR	INT	3 ÜR	PSI	4 ÜR	FIT	5 ÜR
A	Räume für Unterricht	173,00	443,00	443,00	224,00	667,00	192,00	859,00	410,00	1.269,00	108,00	1.377,00
	1 Übungsraum	150,00	360,00	360,00	196,00	556,00	168,00	724,00	360,00	1.084,00	96,00	1.180,00
	2 Geräteraum	20,00	40,00	40,00	12,00	52,00	12,00	64,00	12,00	76,00		76,00
	3 Schiedsrichternische, Tore	3,00	22,00	22,00		22,00		22,00	22,00	44,00		44,00
	4 Studi				4,00	4,00		4,00		4,00		4,00
	5 Kabinett für Lehrer	7,00	16,00	16,00	7,00	23,00	7,00	30,00	11,00	41,00	7,00	48,00
	6 Ukleide für die Klassenlehr.		5,00	5,00	5,00	10,00	5,00	15,00	5,00	20,00	5,00	25,00
B	Andere Räume	23,00	38,00	38,00	32,00	70,00	32,00	102,00	34,00	136,00	32,00	168,00
	1 Umkleiden	22,00	34,00	34,00	32,00	66,00	32,00	98,00	32,00	130,00	32,00	162,00
	2 Raum für Putzzeug	1,00	4,00	4,00		4,00		4,00	2,00	6,00		6,00
C	Kommunikationen	20,00	65,00	65,00	25,00	90,00	32,00	122,00	16,00	138,00	10,00	148,00
	1 Gänge	20,00	50,00	50,00	25,00	75,00	22,00	97,00	11,00	108,00	10,00	118,00
	2 Anlagen für die Zuschauer		15,00	15,00		15,00	10,00	25,00	5,00	30,00		30,00
	Zusammen A + B + C	216,00	546,00	546,00	281,00	827,00	256,00	1.083,00	460,00	1.543,00	150,00	1.693,00

**Abbildung 74:** Normativ Flächengrößen der Übungsräume für die Grundschule, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007

### Dimensionieren der Sanitärbereiche

Bei dem kleinsten Übungsraum geht man von 15 Personen zur Dimensionierung von Sanitärblöcken aus.

2 Umkleiden:  $0,5 \text{ m}^2/\text{Person}$  bzw. 1 Umkleide  $1,0 \text{ m}^2/\text{Person}$

1 Dusche pro 4 (10) Personen, 1 Waschbecken bzw. eine Waschbeckenarmatur pro 5 Personen

1 WC Schüssel pro 20 Personen

## 5.2 KONSTRUKTION

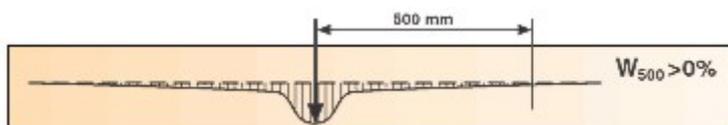
### 5.2.1 Sportboden

Technische Anforderungen an Böden für Sporthallen schreibt die DIN 18032 – Teil 2 vor. Markierungen der Sportflächen sind abhängig von den Wettkampfgeln der Sportfachverbände.

#### Gewähltes Sporthallenbodensystem

Durch Betrachtung und Analyse der Sportarten, die in der geplanten Sporthalle Puconci ausgeübt werden, wurde ein kombinierelastischer Sportboden als Randbedingung für die thermische Simulation ausgewählt.

Kombinier-elastische Sportböden sind flächenelastische Sportböden mit punktelastischer Oberschicht. Er hat die charakteristische Eigenschaft, bei Belastung an seiner Oberfläche eine großflächige und unmittelbare an der Belastungsfläche eine deren Form angepasste, kleinflächige Verformungsmulde zu bilden. (DIN 18032 – Teil 4). Soweit konstruktiv möglich, werden die Vorteile der Sportfunktion des flächenelastischen Konstruktionssystems mit den Vorteilen der Schutzfunktion des punktelastischen Konstruktionssystems vereinigt.



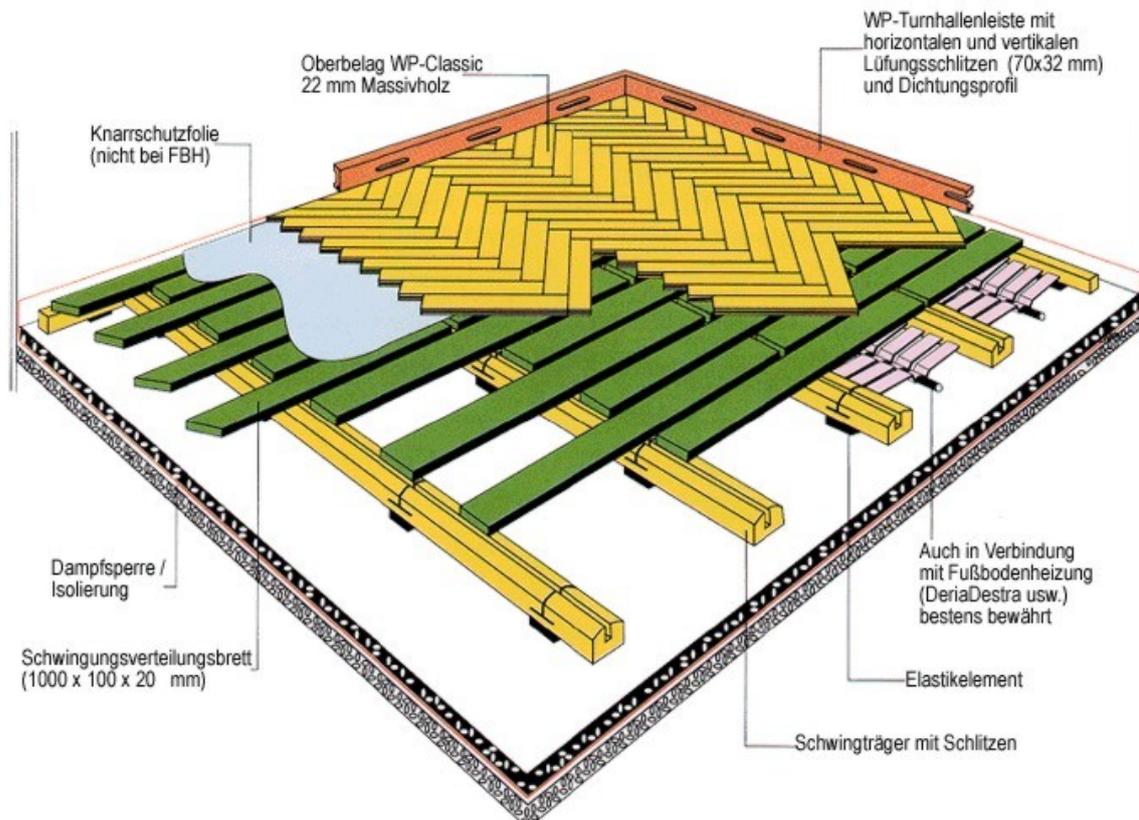
**Abbildung 75:** Kombinierelastischer Sportboden: Flächenelastischer Boden mit punktelastischer Oberschicht. Verformungsmulde im Bereich der Lastverteilungsschicht großflächig, im Bereich der Oberschicht eng an die Belastungsfläche angepasst.

Ungefähr die Hälfte der Zeit wird die Halle für den Schulsportbetrieb genutzt. Daher sind auch viele Kinder neben den erwachsenen Nutzer. Das bedeutet teilweise sehr verschiedene Anforderungen an den Sportboden. Dazu kommt noch eine wettkampfmäßige Benutzung, die auch spezifische Anforderungen an den Sportboden stellt.

Besonders für die Sportarten Hallenfußball, Hallenhockey, Basketball, Volleyball ist ein flächenelastischer Sportboden geeignet. Bei diesen Sportarten kommt es zu sehr vielen und schnellen Drehbewegungen, denen diese Sportbodenart besonders entgegen kommt.

Dagegen würde für Kinder und Sportarten mit kurzen Reaktionszeiten, wie Tischtennis oder Badminton, ein punktelastischer Sportboden besser geeignet sein. Bei diesen oder ähnlichen Sportarten schauen die Spieler immer in die gleiche Richtung, was wiederum sehr wenig Drehbewegung bedeutet. In diesen Fällen braucht man aber eine gute Kraftübertragung beim Springen. Ein Punktelastischer Sportboden mit seiner Nachgiebigkeit und engen Verformungsmulde würde darum sehr geeignet sein.

Als gute Wahl, würde sich eine Kombination dieser zwei Sportbodenarten anbieten. Darum wurde ein kombinierelastischer Sportboden gewählt.



**Abbildung 76:** Fischgrätparkett - Holzschwingboden

### 5.2.2 Prallwand

Wände müssen nach DIN 18032 – Teil 2 ballwurfsicher und bis zu einer Höhe von 200 cm vom Boden weg voll (Öffnungen in Wand unter  $\varnothing$  8 mm), gerade, glatt und fest sein und dürfen keine raue Oberfläche besitzen. Dies gilt auch für an den Wänden angebrachte Installationsteile, Geräteeinbauten, fest eingebaute Bühnen und Banden zur Tribüne hin. Hallenstirnwände können, um die Verletzungsgefahr zu minimieren, mit fest angebrachtem, nachgiebigem Material verkleidet werden.

### 5.2.3 Fenster in Sporthallen

Lichtöffnungen müssen mit Netzen geschützt werden, wenn keine besondere Schutzverglasung eingebaut ist. Abhängig von der Objektorientierung müssen Fenster einen entsprechenden Sonnenschutz bzw. innen liegende Verschattungsmöglichkeiten aufweisen. Nach DIN 67 526-3 dürfen in teilbaren Hallen auf Grund der wechselnden Spielrichtung, keine Fenster in den Fassaden angeordnet werden, wenn keine entsprechenden Maßnahmen zur Vermeidung von Blendung und Silhouetteneffekt vorgesehen sind. Die Norm schlägt deshalb vor, teilbare Hallen im wesentlichen durch Dachoberlichter mit Tageslicht zu versorgen.

### 5.2.4 Hallenabtrennung

Hängende Trennvorhänge bzw. Wände müssen DIN 18032 – Teil 4 entsprechen.

### 5.2.5 Decke

Die technischen Anforderungen für Decken sind in der DIN 18032 – Teil 3 zu finden. Das gewählte Deckensystem ist in einer Sporthalle einer höheren Belastung ausgesetzt und dementsprechend gegen Beschädigungen in Folge der Sportaktivitäten zu schützen. Besonders zu beachten ist, dass die Staubablagerung und Ballzurückhaltung minimiert wird. Wichtiger Bestandteil des Deckensystems ist auch die Integration der Beleuchtung in die Decke.

### 5.2.6 Tribüne

Die Ausführung der Teleskoptribünen bestimmt DIN 18032 – Teil 5.

### 5.2.7 Geräte

Für Einbau und Verankerung der Ausstattung gilt DIN 18032 – Teil 6. Die Anordnung der Geräte sollte so erfolgen, dass eine ausreichend große Wandfläche in der Halle als Ballspielwand frei bleibt.

### 5.2.8 Kletterwand

Für ihre Einrichtung kommen im Regelfall die Hallenstirnwände im Innenbereich bzw. die Hallengiebelwände im Außenbereich in Betracht. Es sind Anforderungen der DIN EN 12572 sowie die Informationen der Unfallversicherungsträger und der Länderministerien zu beachten.

### 5.2.9 Einrichtungen

Alle Einrichtungen (Pausensignal, Spielzeituhr und Anzeigetafel, für Spielstand und Wettkampfwertung, Regiepult) in der Halle müssen ballwurfsicher und – so weit es ihre Funktion erfordert – erschütterungsfrei eingebaut werden.

### 5.2.10 Wärmeschutz

Wärmeschutz und Energieeffizienz ist mit dem gültigen Slowenischen „Regelwerk über Wärmeschutz und Energieeffizienz“ bestimmt.

Die höchsten zulässigen Wärmedurchgangszahlen  $U_{\max}$  der einzelnen Bauteile sind (gemäß „Regelwerk über Wärmeschutz und wirksame Energieverbrauch“):

Baukonstruktion	$U_{\max}$ (W/m <sup>2</sup> K)
Außenwände und Wände gegen unbeheizten Räumen	0,60
Wände zwischen den beheizten Räumen	1,60
Außenwand und Decke gegen Terrain	0,70
Deckenkonstruktion zwischen beheizten Räumen	1,35
Boden auf den Terrain	0,45
Decke gegen unbeheizten Dachraum	0,35
Decke über den unbeheizten Keller	0,50
Decke oder Boden, die an Außenluft oder geöffneten Durchgang oder Boden auf den Terrain bei Paneel-Bodenheizung	0,40
Schrägdach über dem geheiztem Dachraum	0,25
Flachdach	0,25
Leichtbaukonstruktionen außer Dach (unter 150 kg/m <sup>2</sup> )	0,30

### 5.2.11 Brandschutz

Die Brandschutzanforderungen für Gebäude sind im Slowenischen Amtsblatt Nr. 31, 2004, Brandschutz für Gebäude, bestimmt.

## 5.3 ANFORDERUNGEN AN DAS RAUMKLIMA EINER SPORTHALLE

### 5.3.1 Lüftung

Im Idealfall sollte eine natürliche Be- und Entlüftung angestrebt werden. Empfohlene Außenluftmengen zur Lüftung nach dem Regelwerk für Räume für Sport und Freizeit. [23]

Raum	Geschätzte größte Dichte von Personen/100 m <sup>2</sup>	Luftmenge m <sup>3</sup> /h*Person	Luftmenge m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>
Tribüne	150	30	
Spielraum	70	45	
Turnhalle	30	35	
Bistro, Cafe, Restaurant, Restaurant mit Schnellnahrung	100	35	
Gänge		0,9	
Büro	7	35	
Kassenraum	60	35	
Öffentliche Sanitäreanlage <sup>1</sup>		90	
Umkleide <sup>2</sup>			9,0
Lift <sup>3</sup>			18,0

- 1 Eingebaute Küchenabzugshauben könnten größere Luftmengen verlangen. In diesem Fall darf auch durch Nebenräume geführte Luft verwendet werden soweit die Luftqualität zufrieden stellend ist.
- 2 Üblich. Man kann auch durch Nebenräume geführte Luft verwenden.
- 3 Mechanische Entlüftung.

### 5.3.2 Heizen

Die Heizung muss ununterbrochen über die gesamte Wintersaison in Betrieb sein. Die Versorgung mit sanitärem Warmwasser muss auch über die Sommersaison gewährleistet sein. Die Auswahl des Heizungssystems muss neben allen Standardanforderungen auch das Prinzip der Energieeffizienz berücksichtigen. Für die Erwärmung der Räume werden Radiatorheizungen, Bodenheizungen, Deckenstrahler oder eine Anlagen zur Warmlufteinblasung verwendet oder eine Kombination aus diesen Systemen. Die Energiequelle ist abhängig von den lokalen Möglichkeiten. Das Heizungssystem sollte eine getrennte Regulation für die einzelnen Sporträume haben.

#### Empfohlene Temperaturen

Übungsraum und Zusatzsporträume	16 – 20°C
Waschraum	22°C
Umkleide	22°C
WC	15°C
Treppenträume, Gänge	12°C

Die Temperatur in den Räumen darf nicht unter 8°C fallen.

### 5.3.3 Licht

#### Natürliche Beleuchtung

Entsprechende natürliche Beleuchtung (DIN 67526 – 3) wird mit Fenstern in den Wänden oder mit Oberlichtern im Dach erreicht. Eine ständig ausreichende Beleuchtung sollte über die jährliche Nutzungsdauer durch das Tageslicht bei bedecktem Himmel gegeben sein. Besonderes Augenmerk muss der Gleichmäßigkeit der Beleuchtung gewidmet werden, ohne scharfe Schatten, Blendung und Silhouetteneffekt. Starke Leuchtdichtenkontraste zwischen Fenstern und anderen Bauteilen, die an diese angrenzen, sind zu vermeiden.

### Künstliche Beleuchtung

Für die Beleuchtung von Sportstätten gilt die DIN 67526 – Teil 1 bzw. DIN EN 12193. Falls eine Notbeleuchtung erforderlich ist, gilt die DIN EN 1838. Besonders geeignet ist die Steuerung des Lichtes über voreingestellte Szenarien (Unterricht, Übung, Training, Wettkampf, andere Veranstaltungen). Es sollten Lampen mit Lichtfarben warmweiß bzw. neutralweiß verwendet werden. Die Blendung durch künstliches Licht soll vermieden werden. Leuchten mit einer guten Abschirmung sind aus sportfunktionellen Gründen bevorzugt.

### Lichtreflexion

Alle Nutzflächen sollten einen mittleren oder hohen Grad der Lichtreflexion haben (Tabelle 2 [22]). Grenzflächen sollten einen höheren Grad der mittleren Lichtreflexion als  $q_{\text{dif}} = 0,45$  haben. Der Unterschied der Lichtreflexionsgrade von Flächen und Bau- bzw. Ausstattungsteilen sollte gering sein (geringer Kontrast).

## 5.3.4 Wasser

### Wasserversorgung

Ein Sanitärblock ist für eine Gruppe von 20 Benutzern ausgelegt. Für die Berechnung gilt folgendes:

Warmwasser	max. 40°C
Wasserverbrauch pro Person	8 l/min
Duschzeit pro Person	4 min
Warmwasservorbereitungszeit	30 min
Warmwasserbereiter-Temperatur	50°C

Duschköpfe sollten einen Wasserverbrauch von 8 l/min zulassen. Für die Temperaturbegrenzung des Wassers sollten Sicherheitsthermostate eingebaut werden. Mischbatterien bei den Duschen sollten mit einer Wasserabschaltautomatik ausgestattet werden.

### Stromversorgung

Abhängig von der Größe und dem Umfang der technischen Ausstattung müssen Nutzer- und Zuschauerbereiche in verschiedene Regelkreise aufgeteilt werden. Die Regelungsanlage zur Kontrolle der Heizung, Lüftung, Beleuchtung und anderen eingebauten Anlagen soll in der Rezeption, dem Regieraum oder im Raum für das Lehrpersonal angeordnet sein.

## 5.3.5 Sonstiges

### Akustik

Außenlärm sollte nicht den Wert  $L_m = 45$  dB überschreiten. Die Nachhallzeit bei Frequenzen über 500 Hz soll bei Grundübungsräumen bei einer Abmessung von 15×24×7m 2s und in größeren Hallen 2,5 s nicht überschreiten. Für hängende Trennvorhänge gilt die DIN 18032 – Teil 4.

## 5.4 RAUMBUCH

Für besondere Anforderungen in Verbindung mit Sportstätten und deren Ausstattung müssen die geltenden Slowenischen Standards berücksichtigt werden. Fehlen genauere Vorschriften so gelten DIN bzw. EN Normen.

<b>Dreifeldsporthalle</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Halle		18-26	60 m <sup>3</sup> /Pers	70	300 750

### Kontext

Teilbar in 3 Hallen 15×27m mit Trennvorhängen. Eingebaute Tore bedingen einen Raum außerhalb der Wettkampfzone. Es sollten Nischen vorgesehen sein, in die die Tore geräumt werden können. Im Spiel werden sie bis zur Grenze des Spielfeldes ausgezogen. Die Nische soll 9,00 m lang und 1,5 m breit sein. Für Kleingeräte sollten an den Seitenwänden Schränke mit einer Gesamtlänge von mindestens 4 m vorgesehen werden.

### Tribüne

Bei Veranstaltungen soll der Raum für 1/3 der Kinder aus der Schule auf Sitzen vorhanden sein. Im Fall, dass nur der Grundübungsraum gebaut wird, soll ein Teil des Ganges, Galerie oder Balkons für Stehplätze vorgesehen werden.

### Außenbezug

Es ist eine maximale Tageslichtausbeute nach DIN 67 526-3 anzustreben (5.3.3 Licht). Ein Sichtbezug, bzw. Kontaktfenster nach außen sind nicht erforderlich. Einblicke in die Halle aus dem öffentlichen Raum sind zu vermeiden.

### Interaktion

Jeder Teilhalle muss ein Geräteraum mit mindestens 6m Länge und 4,5m Tiefe angeschlossen sein. Eine Teilhalle muss mit der Tischtennishalle gekoppelt werden können.

### Zugang

Direkter Zugang zu den Geräteräumen. Die Höhe der Türen soll 2,20m und die Breite 1,90 m betragen. Die Halle muss einen unmittelbaren oder mittelbaren Zugang von außen mit mindestens 1,5 m Breite und 2,2 m Höhe für den An- und Abtransport von Großgeräten für Sport, Reinigung und Reparatur besitzen.

### Konstruktion

#### Maße

L/B/H: 27/45/7

#### Boden

Sportboden

#### Wand

Wände müssen bis 200 cm über den Boden voll (Öffnungen in Wand unter Ø 8 mm), gerade, glatt und fest sein. Hängende Trennvorhänge bzw. Wände müssen der DIN 18032 – Teil 4 entsprechen

#### Fenster

Es sollte keine starke Blendung auftreten. Eine gleichmäßige Ausleuchtung ist anzustreben. Fensterflächen in der Fassade sind in Spielrichtung zu vermeiden, oder Ergänzungsmaßnahmen, wie künstliche Zusatzbeleuchtung oder Oberlichten sind vorzusehen. Natürliche Lüftung ist anzustreben, jedoch nicht zwingend erforderlich.

<b>Geräteraum</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template	unbeheizte NR	12	2,7 m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>	0	100

#### Kontext

Kurzzeitiger Aufenthalt von max. 6 Personen; Wenn der Geräteraum auf drei Teile aufgeteilt ist, dann sind pro Teil 4 Personen anzunehmen. Die Länge (27 m) kann auf mehrere Räume verteilt werden, jedoch muss jedem Hallenteil mindestens 6 m Breite zugeordnet werden.

#### Interaktion

Zuordnung zur Sporthalle und Tischtennishalle

#### Zugang

Direkter Zugang zur Sporthalle mit Anlieferungsöffnung von außen. Zugang von außen mit mindestens 1,5 m Breite und 2,2 m Höhe für den An- und Abtransport von Großgeräten für Sport, Reinigung und Reparatur

#### Konstruktion

##### Maße

L/B/H: 4,5/27/2,5  
Minimale Tiefe für Aufbewahrungsräume des Grundübungsraumes beträgt 3,80 m, die lichte Höhe des Raumes muss mindestens 2,50 m betragen.

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

<b>Tischtennishalle</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template	Tischtennis	18-26	60 m <sup>3</sup> /Pers	10	500

#### Kontext

Blendfreie Kunstlichtbeleuchtung und Minimierung der Luftgeschwindigkeit

#### Außenbezug

Tageslichtnutzung ist wünschenswert jedoch nicht zwingend erforderlich. Ein Sichtbezug bzw. Kontaktfenster nach außen ist nicht erforderlich. Einblicke in die Halle aus dem öffentlichen Raum sind zu vermeiden.

#### Interaktion

Eine Koppelung mit einer Teilhalle, der Dreifeldsporthalle ist durch den Trainingsablauf notwendig.

#### Zugang

Eigener Zugang unabhängig von der Sporthalle, direkter Zugang vom Geräteraum

#### Konstruktion

##### Maße

L/B/H: 15/10/3,5

##### Boden

Sportboden

##### Wand

keine Prallwand erforderlich

##### Fenster

Verhinderung von Blendung bei Tageslichtbeleuchtung. Fensterlüftung ist nicht zwingend erforderlich.

<b>Studio</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Studio		18-26	60 m <sup>3</sup> /Pers	15	300

#### Kontext

Dieser Raum sollte verschiedensten Sportarten dienen, von Tischtennis, Tanzen, Aerobic, Joga, usw., bis zu Besprechungen und auch für besondere Übungen mit Kleinstkindern. Die Ausstattung für diese Übungen muss in diesem Raum auch vorgesehen werden.

#### Außenbezug

Tageslichtnutzung ist auf Grund der Mehrfachnutzung wünschenswert, jedoch nicht zwingend erforderlich. Ein Sichtbezug, bzw. Kontaktfenster nach außen ist nicht erforderlich. Einblicke in die Halle aus dem öffentlichen Raum sind zu vermeiden.

#### Interaktion

Das Studio stellt einen eigenen Raum, frei von direkten Interaktionen mit anderen Räumen dar. Eine räumliche Nähe zum Cafe sollte vorhanden sein.

#### Zugang

Eigener Zugang unabhängig von der Sporthalle.

#### Konstruktion

##### Maße

L/B/H: 10/12/4

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Wand

keine Prallwand erforderlich

##### Fenster

Verhinderung von Blendung bei Tageslichtbeleuchtung. Fensterlüftung ist nicht zwingend erforderlich.

<b>Kabinett für Sportlehrer</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Aufenthaltsraum		20	35 m <sup>3</sup> /Pers	3	300

#### Kontext

Der Raum für Sportlehrer besteht aus einem Arbeitsbereich und der Umkleide. Er dient auch als Erste-Hilfe-Raum. Nur kurzzeitiger Aufenthalt.

#### Außenbezug

Sichtbezug nach außen ist nicht erforderlich. Tageslicht ist empfohlen, jedoch nicht verpflichtend.

#### Interaktion

Sanitärbereich, der aus Toilettenschüssel, Dusche und Waschbecken besteht, sollte gemeinsam mit dem Klassenlehrerraum benutzt werden.

#### Konstruktion

##### Maße

>10m<sup>2</sup>, H>2,5m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Fenster

Keine Fensterlüftung erforderlich

<b>Kabinett für Klassenlehrer</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Aufenthaltsraum		20	35 m <sup>3</sup> /Pers	3	300

#### Kontext

Ein Raum zum Umkleiden für die Klassenlehrer der Unterstufe für den Klassenunterricht.

#### Außenbezug

Sichtbezug nach außen ist nicht erforderlich. Tageslicht ist empfohlen, jedoch nicht verpflichtend.

#### Interaktion

Sanitärbereich, der aus Toilettenschüssel, Dusche und Waschbecken besteht, sollte gemeinsam mit den Sportlehrerraum benutzt werden.

#### Konstruktion

##### Maße

>10m<sup>2</sup> H>2,5m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Fenster

Keine Fensterlüftung erforderlich

<b>Foyer</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template GangFoyerTrib		12	unbel.		200

#### Kontext

In Abhängigkeit von den Nutzungsanforderungen sind zusätzliche Bedingungen laut DIN zu berücksichtigen.

#### Außenbezug

Als Schnittpunkt mit dem Außenraum ist ein Bezug zum öffentlichen Raum erforderlich. Ein- und Ausblicke sind einzuplanen.

#### Interaktion

Es ist ein Infobereich zu integrieren, der in Verbindung mit dem Hallenwartraum und dem Kartenverkauf steht.

#### Zugang

Das Foyer dient als Zugang für schulfremde Nutzer, Besucher und Zuschauer. Daher ist der Eingang zum öffentlichen Raum hin zu orientieren.

#### Konstruktion

##### Maße

>45m<sup>2</sup> H>3,5m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Fenster

Verglasungen sind nicht offenbar auszuführen.

<b>Cafe</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template	Cafe	20-26	35 m <sup>3</sup> /Pers	30	200

#### Kontext

Dieser Raum sollte Nutzer und Besucher der Halle zum Konsum von erfrischenden Getränken und kleinen Imbissen dienen.

#### Außenbezug

Der Sichtbezug zum öffentlichen Raum sollte bedacht werden.

#### Interaktion

Eine Zusammenlegung mit dem Foyer ist denkbar. Eine Kommunikation mit der Sporthalle sollte vorhanden sein.

#### Zugang

Ein Zugang, der unabhängig von den Hallenöffnungszeiten funktioniert, ist empfehlenswert.

#### Konstruktion

##### Maße

>80m<sup>2</sup> H>3,5m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Fenster

Als sozialer Aufenthaltsraum sind öffentbare Fenster erforderlich.

<b>Imbissküche</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template	Kueche	20-26	9 n <sup>-1</sup>	2	500

#### Kontext

Die Imbissküche ist als Kleinküche mit beschränktem Angebot und Ausstattung gedacht. Sie dient zur Getränkeversorgung und Zubereitung schneller Speisen und Snacks.

#### Außenbezug

Als Arbeitsraum ist Tageslicht wünschenswert. Einblicke von außen sind zu vermeiden.

#### Interaktion

Unbedingt neben dem Cafe zu platzieren. Ein Lager mit Kühlgeräten muss direkt an die Küche angeschlossen sein.

#### Zugang

Das Lager muss eine separate Anlieferung ermöglichen.

#### Konstruktion

##### Maße

>10m<sup>2</sup> H>2,5m

##### Boden

Leicht zu pflegende, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Wand

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Wandbelag bis 2 m über dem Fußboden

##### Fenster

Fensterlüftung ist empfohlen.

<b>Hallenwartraum</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Aufenthaltsraum		20	35 m <sup>3</sup> /Pers	1	500

#### Kontext

In diesem Raum erledigt der Hallenwart auch verschiedene Reparaturarbeiten. Kann auch als Rezeption/Kartenverkauf und Inforaum dienen.

#### Außenbezug

Als Arbeitsraum ist Tageslicht wünschenswert. Direkter Außenbezug ist nicht erforderlich.

#### Interaktion

Die Funktion bedingt eine logische Situierung nahe dem Foyer

#### Konstruktion

##### Maße

>10m<sup>2</sup> H>2,5m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Fenster

Es ist keine Fensterlüftung erforderlich.

<b>Putzraum</b>	Anzahl	1-2	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template unbeheizte NR		12	unbel.		100

#### Kontext

In jeder Etage der Übungsräume muss ein Raum für Reinigungsmittel vorhanden sein.

#### Konstruktion

##### Maße

>3m<sup>2</sup> H>2,5m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

<b>Besprechungszimmer</b>	Anzahl	1	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template unbeheizte NR		20	35 m <sup>3</sup> /Pers	12	300

#### Kontext

Dieser Raum wird selten genutzt, meistens für Vereinsbesprechungen, Trainingsanalysen und auch Pressekonferenzen.

#### Außenbezug

Auf Grund der seltenen Nutzung ist kein Tageslicht oder Außenbezug notwendig.

#### Konstruktion

##### Maße

>22m<sup>2</sup> H>2,5m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Fenster

Es ist keine Fensterlüftung erforderlich

<b>Technikraum</b>	Anzahl	2	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template unbeheizte NR		12	unbel.		100

**Kontext**

**Konstruktion**

Maße  
Dimensionierung nach Größe der erforderlichen Anlage

Boden  
Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

<b>Umkleiden</b>	Anzahl	6	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Umkleide		22	9,0 m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>	15	200

**Kontext**

2 Umkleiden: 0,5 m<sup>2</sup>/Person bzw. 1 Umkleide 1,0 m<sup>2</sup>/Person

Außenbezug  
Es ist kein Außenbezug notwendig. Einblicke von außen sind zu vermeiden. Tageslicht ist nicht notwendig, jedoch wünschenswert.

Interaktion  
Unmittelbare Verbindung mit einem Waschaum

**Konstruktion**

Maße  
>15m<sup>2</sup> H>2,5m

Boden  
Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

<b>Waschaum</b>	Anzahl	3	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Waschaum		22	7,0 m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>	7	200

**Kontext**

1 Dusche pro 4 Personen, 1 Waschbecken bzw. ein Fußwaschbecken pro 5 Personen. Dieser Raum sollte so ausgeführt werden, dass ein Waschaum zwei Umkleiden verbindet.

Außenbezug  
Es ist kein Außenbezug notwendig. Einblicke von außen sind zu vermeiden.

Interaktion  
Unmittelbare Verbindung mit den zugeordneten Umkleiden

**Konstruktion**

Maße  
>13m<sup>2</sup> H>2,5m

Boden  
Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

Wand  
Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Wandbelag bis 2 m über dem Fußboden

<b>Toiletten</b>	Anzahl	6	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template WC		12	9,0 m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>		200

#### Kontext

1 WC pro 20 Personen  
 3-4 WC im Umkleidebereich, 2 WC im Hallenbereich und 1+1 WC für Besucher. Es ist in jedem Geschöß eine Behindertentoilette vorzusehen (r=1,5 m). Im Fall, dass nur ein Übungsraum gebaut wird, muss die Toilettenanlage geschlechtergetrennt gebaut werden. Erlaubt ist auch das Zusammenlegen von mehreren Sanitärblöcken in gemeinsame Einheiten, so dass die Trennung nach Geschlecht möglich ist. Mindestens ein Raum mit WC und Waschbecken soll von dem sauberen Gang aus zugänglich sein.

#### Konstruktion

##### Maße

>2,5 m<sup>2</sup> H>2,5 m  
 Behindertengerecht >7 m<sup>2</sup>

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

##### Wand

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Wandbelag bis 2 m über dem Fußboden

<b>Vereinsraum</b>	Anzahl	2	[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template Aufenthaltsraum		20	35 m <sup>3</sup> /Pers	3	200

#### Kontext

Dieser Raum wird nur kurzzeitig für Besprechungen oder Auswertungen genutzt. Er dient als zusätzliches Gerätelager für vereinseigenes Material.

##### Außenbezug

Sichtbezug nach außen ist nicht erforderlich. Tageslicht ist empfohlen, jedoch nicht verpflichtend.

#### Konstruktion

##### Maße

>16 m<sup>2</sup> H>2,5 m

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

<b>Gänge</b>	Anzahl		[°C]	[Luft]	[Pers]	[lux]
	Template GangFoyerTrib		12	unbel.		100

#### Kontext

Die Gänge sollten behindertengerecht ausgeführt werden. Die Mindestbreite beträgt 1,5 m. Saubere und schmutzige Wege sollten sich nicht mischen. Dies gilt besonders für den Gebrauch der Umkleiden beim Zutritt für die Außensportflächen.

#### Konstruktion

##### Boden

Leicht zu pflegender, wasserabweisender und strapazierfähiger Bodenbelag

## 5.4.1 Raumprogramm

Raum	Geometrie			Klima			Licht			Spezialität	Template					
	L	B	H	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	°C <sub>min</sub>	°C <sub>max</sub>	Pers			Luft	max/m <sup>2</sup> /h	n <sup>-1</sup>	Lux	TG
Dreifeldhalle	27.00	45.00	7.00	1215	8505	18	26	60	60 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	3600	0.42	300/750	X	O	Sportboden, Prallwand, Teleskoptribüne	Halle
Geräteraum	4.50	2.70	2.50	12	30	12		0	2.7 m <sup>3</sup> /h <sup>2</sup>	33	1.08	100	-	-	Teilbare Länge >6m / Halle	unbeheizte NR
Tischtennishalle	15.00	10.00	3.50	150	525	18	26	10	60 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	600	1.14	300	O	O	Sportboden, keine Prallwand	Tischtennis
Studio	12.00	10.00	4.00	120	480	18	26	15	60 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	900	1.88	300	O	O	Mehrzweckboden, keine Prallwand	Studio
Kabinett für Sportlehrer			2.50	10	25	20		3	35 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	105	4.20	300	O	O	gemeinsam mit Kalssenlehrer genutzer Sanitärknoten	Aufenthaltsraum
Kabinett für Klassenlehrer			2.50	10	25	20		3	35 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	105	4.20	300	O	O	gemeinsam mit Sportlehrer genutzer Sanitärknoten	Aufenthaltsraum
Foyer			3.50	45	158	12		0	unbelüftet AL Infiltr.	0.20	0.20	200	X	X	Infobereich und Kartenverkauf integriert	Foyer Gang Trib
Cafe			3.50	80	280	20	26	30	35 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	1050	3.75	200	X	X	Einblicke in die Halle	Cafe
Imbissküche			2.50	10	25	20	26	2	9 n <sup>-1</sup>	225	9.00	500	X	-	angeschlossenes Lager	Kueche
Hallenwartraum			2.50	10	25	20		1	35 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	35	1.40	500	X	O	dient auch zum Kartenverkauf, Information	Aufenthaltsraum
Putzraum			2.50	3	8	12		0	unbelüftet AL Infiltr.	0.20	0.20	100	-	-	pro Geschloß ein Raum	unbeheizte NR
Besprechungszimmer			2.50	22	55	20		12	35 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	420	7.64	300	O	O	sporadisch und kurzzeitig genutzt	Aufenthaltsraum
Technikraum			n.B.	n.B.		12		0	unbelüftet AL Infiltr.	0.20	0.20	100	-	-	Dimension nach erforderlicher Größe der Anlage	unbeheizte NR
Umkleiden			2.50	15	38	22		15	9 m <sup>3</sup> /h <sup>2</sup>	135	3.60	200	O	-		Umkleide
Waschraum			2.50	13	33	22		7	7 m <sup>3</sup> /h <sup>2</sup>	91	2.80	200	O	-		Waschraum
Toiletten			2.50	5	12	12		1	9 m <sup>3</sup> /h <sup>2</sup>	42	3.60	200	O	-		WC
Vereinsraum			2.50	16	40	20		3	35 m <sup>3</sup> /Pers <sup>h</sup>	105	2.63	200	O	O	kurzzeitig genutzter Aufenthaltsraum und Lager	Aufenthaltsraum
Gänge			2.50	0	0	12			unbelüftet AL Infiltr.	0.20	0.20	100	O	O		Foyer Gang Trib

TG: Tageslicht    SB: Sichtbezug    X: erforderlich    O: wünschenswert    - : zu vermeiden

5.4.2 Interaktionsschema

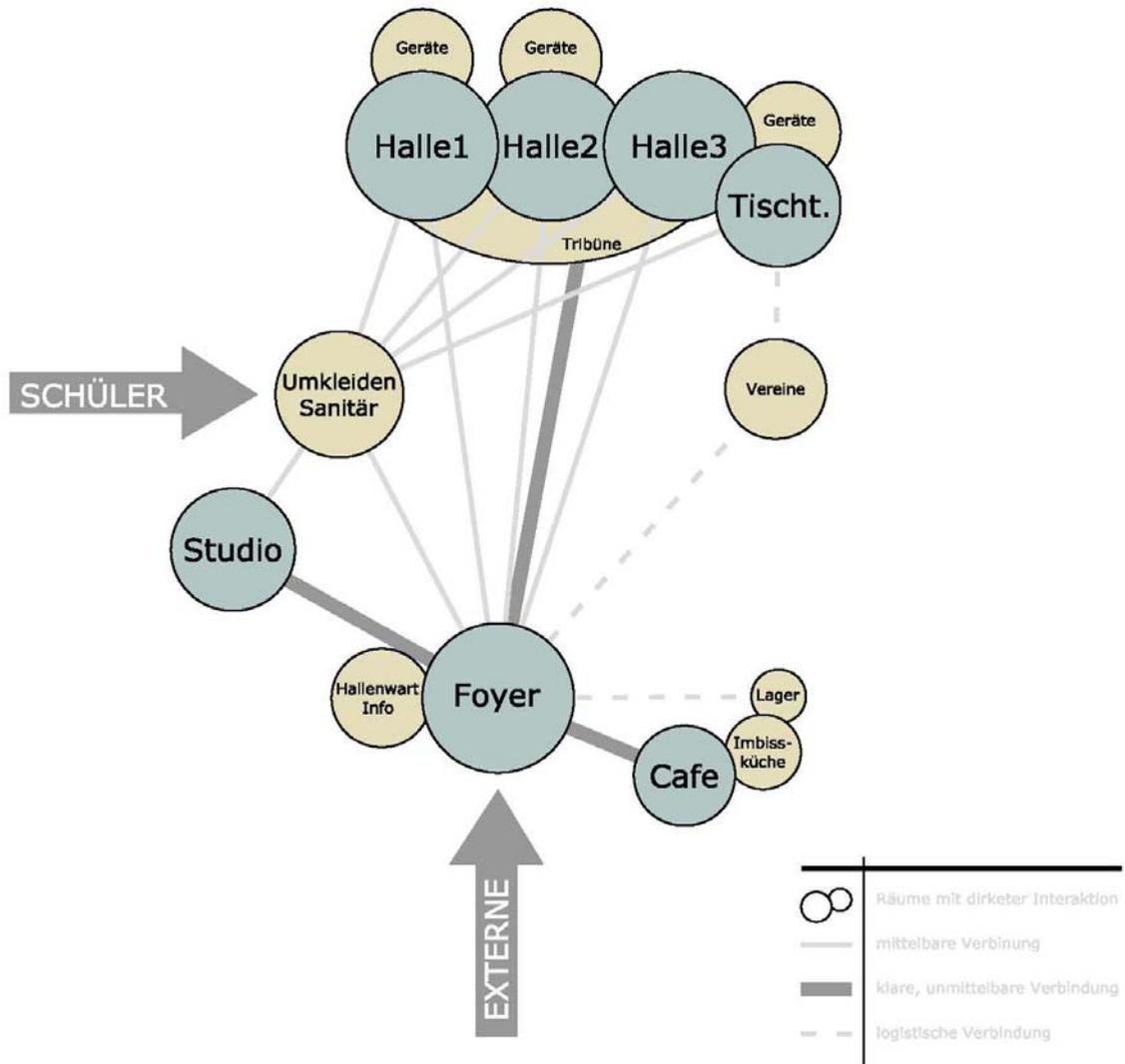


Abbildung 77: Interaktionsschema der Räume

## 5.5 NUTZUNGSZEITEN, -PROFILE UND -SZENARIEN

### 5.5.1 Nutzungsprofile der erwarteten Nutzergruppen

<b>Schulunterricht</b>		Pers. Halle	Pers. Trib	Watt Pers.	[lux]
		1.-5. Klasse	<28		230
		6.-9. Klasse	<20	230	250

Vereinsgruppen	Stunden Woche	pro	1.9.-31.10.	1.11.-15.3.	16.3.-30.6.	1.7.-30.7.	1.8.-31.8.
max. 21 Gruppen	73,8						

#### Sportfläche

Spielfläche	Übungsräume für Sportobjekte für Schule und Sport laut Richtlinien von Ministerium der Republik Slowenien
Hindernisfreie Gesamtsportfläche	Übungsräume für Sportobjekte für Schule und Sport laut Richtlinien von Ministerium der Republik Slowenien

<b>Tischtennis</b>		Wettkampfniveau international	Pers. Halle	Pers. Trib	Watt Pers.	[lux]
			Training	12-18		455
		Wettkampf	6-32	70	650	750

Vereinsgruppen	Stunden Woche	pro	1.9.-31.10.	1.11.-15.3.	16.3.-30.6.	1.7.-30.7.	1.8.-31.8.
I. Gruppe	3						
II. Gruppe	6						
III. Gruppe	8						
IV. Gruppe	10						
V. Gruppe	8						
individuell	10,5						

#### Sportfläche

Spielfläche Training (Standortanforderung)	Abhängig vom Alter: ab 4×9 m bis 6×12 m
Spielfläche Wettkampf (Regelmaße)	Internationale Großveranstaltungen: 14×7 m, National: 12×6 m, Höhe=4 m Für jüngere Kategorien sind bei nationalen Wettkämpfen geringere Spielfeldabmessungen zulässig, abhängig vom Alter: ca. 4×9 m (6 Tische in 1/3 Halle)
Hindernisfreie Gesamtsportfläche	Gleich wie Regelmaße

<b>Volleyball</b>	Wettkampfniveau regional		<b>Pers. Halle</b>	<b>Pers. Trib</b>	<b>Watt Pers.</b>	<b>[lux]</b>
		Training	15		455	300
		Wettkampf	12	100	650	750

Vereinsgruppen	Stunden Woche	pro	1.9.- 31.10.	1.11.- 15.3.	16.3.- 30.6.	1.7.-30.7.	1.8.-31.8.
I. Gruppe	3						
II. Gruppe	8						

### Sportfläche

Spielfläche Training (Standortanforderung)	Regional: 24×13, Höhe=7 m
Spielfläche Wettkampf (Regelmaße)	International: 18×9 m, Höhe=12,5 m National: 18×9 m, Höhe=9 m Regional: 18×9 m, Höhe=7 m
Hindernisfreie Gesamtsportfläche	International: 34×19 m, Höhe 12,5 m National: 28×15, Höhe=9 m Regional: 24×13, Höhe=7 m

<b>Hallenhockey</b>	Wettkampfniveau international		<b>Pers. Halle</b>	<b>Pers. Trib</b>	<b>Watt Pers.</b>	<b>[lux]</b>
		Training	15		455	300
		Wettkampf	12	60	650	750

Vereinsgruppen	Stunden Woche	pro	1.9.- 31.10.	1.11.- 15.3.	16.3.- 30.6.	1.7.-30.7.	1.8.-31.8.
I. Gruppe	3						
II. Gruppe	8						
III. Gruppe	8						

### Sportfläche

Spielfläche Training (Standortanforderung)	40×20 m und 15×27 m
Spielfläche Wettkampf (Regelmaße)	International und National: 40×20 m, Höhe= 5,5 m
Hindernisfreie Gesamtsportfläche	International und National: 44×21 m, Höhe= 5,5 m

<b>Hallenfußball</b>				Wettkampfniveau regional	Pers.	Pers.	Watt	[lux]
					Halle	Trib	Pers.	
Training					12		455	200
Wettkampf					12	200	650	200

Vereinsgruppen	Stunden Woche	pro	1.9.- 31.10.	1.11.- 15.3.	16.3.- 30.6.	1.7.-30.7.	1.8.-31.8.
I. Gruppe	24						

### Sportfläche

Spielfläche Training (Standortanforderung)	40×20 m und 15×27 m
Spielfläche Wettkampf (Regelmaße)	International und National: 40×20 m, Höhe= 5,5 m
Hindernisfreie Gesamtsportfläche	International und National: 44×21 m, Höhe= 5,5 m

<b>Außennutzer</b>				Wettkampfniveau regional	Pers.	Pers.	Watt	[lux]
					Halle	Trib	Pers.	
Training					12	10	455	200

Vereinsgruppen	Stunden Woche	pro	1.9.- 31.10.	1.11.- 15.3.	16.3.- 30.6.	1.7.-30.7.	1.8.-31.8.
I. Gruppe							
II. Gruppe							
Gruppe I: Hallenfußball, Volleyball, Handball, Tischtennis, Basketball							
Gruppe II: Tanzen, Joga, Aerobic, ...							

### Sportfläche

Spielfläche Training (Standortanforderung)	40×20 m und 15×27 m, Höhe = 7 m
Spielfläche (Regelmaße)	Hallenfußball: 40×20 m, Höhe = 5,5 m Basketball: 28×15 m, Höhe = 7 m Volleyball: 18×9 m, Höhe = 7 m Handball: 40×20 m, Höhe = 7 m Tischtennis: Höhe = 4 m
Hindernisfreie Gesamtsportfläche	44×21 m, Höhe = 7 m

<b>Fußball</b>				Wettkampfniveau international	Pers.	Pers.	Watt	[lux]
					Halle	Trib	Pers.	
Training					20		455	200

Vereinsgruppen	Stunden Woche	pro	1.9.- 31.10.	1.11.- 15.3.	16.3.- 30.6.	1.7.-30.7.	1.8.-31.8.
I. Gruppe							
II. Gruppe							
III. Gruppe							
IV. Gruppe							

### Sportfläche

Spielfläche Training (Standortanforderung)	40×20 m und 15×27 m
---	---------------------

### 5.5.2 Nutzungszeiten – Simulation der Hallennutzung

Das Jahr gliedert sich in fünf Saisonen:

Winter: 01.01.-15.03., 01.11.-31.12.  
 Übergangszeit: 16.03.-30.06., 01.09.-31.10.  
 Juli: 01.07.-31.07.  
 August: 01.08.-31.08.

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Winter		Übergangszeit				Juli	August	Übergangszeit		Winter	

**Abbildung 78:** Übersicht Jahresnutzung

Im Winter wird die Halle am stärksten genutzt. Am Vormittag hauptsächlich durch die Schule, am Nachmittag und Abend durch Sportvereine und externe Nutzer. Am Samstag finden in der Halle Wettkämpfe statt. Am Sonntag trainiert der Fußballclub.

In der Übergangszeit wird die Halle nicht so intensiv genutzt. Der Schul- und Vereinssport findet in dieser Zeit teilweise im Freien statt. An Samstagen zwischen 16.03. und 15.05. sowie zwischen 01.10. und 31.10. finden Wettkämpfe statt. Am Sonntag ist die Halle geschlossen.

Im Juli ist die Halle geschlossen.

Im August wird die Halle ganztägig von Montag bis Samstag durch den Tischtennisverein genutzt. Am Sonntag ist die Halle geschlossen.

**Abbildung 79** bis **Abbildung 81** zeigen detaillierte Belegungspläne aufgeschlüsselt in Wochentage, Nutzergruppen und Anzahl der Nutzer.

### Belegungsplan (Winter)

 01.01.-15.03.  
 01.11.-31.12.

Zeit	Montag			Dienstag			Mittwoch			Donnerstag			Freitag			Samstag			Sonntag		
	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio
08:00	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
08:30	14	14	12	14	14	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
09:00	14	14	12	14	14	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
09:30	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
10:00	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
10:30	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
11:00	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
11:30	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
12:00	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
12:30	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
13:00	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
13:30	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
14:00	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
14:30	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15:00	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
15:30	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
16:00	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
16:30	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
17:00	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
17:30	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
18:00	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
18:30	20	15	12	12	20	15	8	8	20	15	8	8	20	15	8	8	8	20	15	8	8
19:00	12	8	8	15	12	8	8	8	12	8	8	8	12	8	8	8	8	20	15	8	8
19:30	12	8	8	15	12	8	8	8	12	8	8	8	12	8	8	8	8	20	15	8	8
20:00	12	8	8	15	12	8	8	8	12	8	8	8	12	8	8	8	8	20	15	8	8
20:30	12	8	8	15	12	8	8	8	12	8	8	8	12	8	8	8	8	20	15	8	8
21:00	7	7	7	4	4	4	4	4	7	7	7	7	4	4	4	4	4	15	15	8	8
21:30	7	7	7	4	4	4	4	4	7	7	7	7	4	4	4	4	4	15	15	8	8
22:00	7	7	7	4	4	4	4	4	7	7	7	7	4	4	4	4	4	15	15	8	8
22:30	7	7	7	4	4	4	4	4	7	7	7	7	4	4	4	4	4	15	15	8	8

Schüler  
 Tischtennis  
 Volleyball  
 Hallenhockey  
 Hallenfußball  
 Außenmuller  
 Fußball  
 Wettkampf

nicht jede Woche gleich, siehe Tabelle "Wettkampf"  
 20 Personenzahl pro Raum

Abbildung 79: Belegungsplan Winter

### Belegungsplan (Übergangszeit)

 16.03.-30.06.  
 01.09.-31.10.

Zeit	Montag			Dienstag			Mittwoch			Donnerstag			Freitag			Samstag			Sonntag		
	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio	Halle1	Halle2	Studio
08:00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7			
08:30	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
09:00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
09:30	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
10:00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
10:30	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
11:00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
11:30	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
12:00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
12:30	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
13:00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
13:30	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
14:00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
14:30	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
15:00	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
15:30	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
16:00	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
16:30	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
17:00	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
17:30	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
18:00	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
18:30	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
19:00	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
19:30	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
20:00	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
20:30	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
21:00																					
21:30																					
22:00																					
22:30																					

- Schüler
- Tischtennis
- Volleyball
- Hallenhandy
- Hallenfußball
- Außenutzer
- Fußball
- Wettkampf

nicht jede Woche gleich, siehe Tabelle "Wettkampf"

20 Personennzahl pro Raum

Abbildung 80: Belegungsplan (Übergangszeit)

# Belegungsplan (August)

01.08.-31.08.

	Montag			Dienstag			Mittwoch			Donnerstag			Freitag			Samstag			Sonntag		
	Halle1	Halle2	Halle3	Halle1	Halle2	Halle3	Halle1	Halle2	Halle3	Halle1	Halle2	Halle3	Halle1	Halle2	Halle3	Halle1	Halle2	Halle3	StuDo	Tischf	StuDo
08:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
08:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
09:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
09:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
10:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
10:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
11:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
11:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
12:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
12:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
13:00																					
13:30																					
14:00																					
14:30																					
15:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
15:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
16:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
16:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
17:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
17:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
18:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
18:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
19:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
19:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
20:00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
20:30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
21:00																					
21:30																					
22:00																					
22:30																					

- Schüler
- Tischtennis
- Volleyball
- Hallenhockey
- Hallenfußball
- Außenutzer
- Fußball
- Wettkampf

nicht jede Woche gleich, siehe Tabelle "Wettkampf"  
 20 Personenzahl pro Raum

Abbildung 81: Belegungsplan (August)

### 5.5.3 Wärmeeintrag durch Personen

Aus den angegebenen Nutzungsprofilen können nun die durch Personen verursachten Wärmeeinträge abgeschätzt werden. Die Wärmeleistung eines Sportlers ist von der jeweiligen Sportart abhängig. Fanger [18] gibt durchschnittliche Metabolismusraten für verschiedene Sportarten an. Die Metabolismusrate ist die in einer Zeiteinheit durch Oxidationsprozesse im Körper umgesetzte Energie, welche sich in interne Körperwärme und extern geleistete mechanische Arbeit aufteilt. Hier wird angenommen, dass die gesamte umgesetzte Energie letztendlich an den Raum abgegeben wird. Bei einer Körperoberfläche von 1,8 m<sup>2</sup> ergeben sich daraus folgende Leistungen:

Basketball 798 W

Tennis 480 W

Es wird angenommen, dass sich die in Puconci ausgeübten Sportarten auch in diesem Leistungsbereich befinden. In anderen Literaturquellen werden ähnliche Werte angegeben ([1]). Die durchschnittliche Leistung während der aktiven Sportphase wird mit 650 W/Person angenommen. Eine Trainingseinheit umfasst neben den aktiven Phasen auch Phasen, in denen nicht die volle körperliche Leistung erbracht wird, wie Aufwärmphasen, Besprechungen und Ruhephasen. Daher wird die Dauerleistung mit 70% der Maximalleistung mit 455 W/Person angenommen.

Für Schüler wurde die Maximalleistung auf 70% der Erwachsenenleistung gesetzt. Im Schulbetrieb kommt es häufiger als im Vereinsbetrieb zu Phasen in denen nicht die volle körperliche Leistung erbracht wird. Die Dauerleistung wird mit 50% der Maximalleistung auf 230 W/Person abgeschätzt.

Die Gesamtwärmeabgabe teilt sich in sensible Wärme (Strahlung, Leitung, Konvektion) und latente Wärme (Verdunstung) auf. Bei leichter körperlicher Tätigkeit wird ca. 80% der Wärme sensibel und 20% latent abgegeben [15].

Bei sportlicher Tätigkeit wird ein größerer Teil der Wärme über Verdunstungsprozesse abgegeben. Die Schweißproduktion ist abhängig von der Belastungsintensität, und kann bei extremen Belastungen (fließender Schweiß) mit ca. 1,5 l/h angenommen werden [17]. Der Anteil des tatsächlich verdampfenden Schweißes ist abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Bewegung relativ zur Umgebungsluft. Bei einer Luftfeuchtigkeit von 50-70% und einer relativen Bewegung von 1-3 m/s [18] wird die verdampfende Schweißmenge mit 0,7 l/s abgeschätzt [17].

Über die Verdampfungsenthalpie von Wasser (2416 kJ/kg) kann die latente Wärmeabgabe auf 450 W abgeschätzt werden. Bezogen auf die Leistung von 650 W ergibt sich eine Aufteilung in 31% sensible und 69% latente Wärmeabgabe. Dieses Ergebnis stimmt auch mit den Angaben der EN 13779 (2004) überein, welche für Laufen auf der Ebene eine Aufteilung in 33% sensible und 67% latente Wärmeabgabe angibt.

Aufgrund der oben angenommenen Aufteilung in Ruhephasen und aktive Phasen werden 82% der Gesamtwärmeabgabe bei Maximalleistung (650 W, 31% sensibel, 69% latent) und 18% bei leichter körperlicher Tätigkeit abgegeben (190 W, 60% sensibel, 40% latent; bei 20°C, [15]). Während einer Trainingseinheit werden also 36% der Wärmeenergie sensibel und 64% latent abgegeben.

Im Schulbetrieb erfolgt die Aufteilung ähnlich. Aufgrund der oben angenommenen Aufteilung in Ruhephasen und aktive Phasen werden 59% der Gesamtwärmeabgabe bei Maximalleistung (455 W, 31% sensibel, 69% latent) und 41% bei Ruheleistung (133 W, 60% sensibel 40% latent) abgegeben. Während einer Schulstunde werden 43% der Wärmeenergie sensibel und 57% latent abgegeben.

An einem typischen Wochentag (Montag, Wintersaison) werden an die Halle etwa 63 kWh durch Schüler und 147 kWh durch Sportler abgegeben. Die während des Tages abgegebene Wärmeenergie teilt sich auf 38% sensible und 62% latente Wärme auf.

Für den Wettkampffall wird die Wärmeleistung der Athleten mit 650 W (31% sensibel, 69% latent) und die Wärmeleistung der Zuseher mit 120 W (80% sensibel, 20%

latent) angenommen. An einem typischen Wettkampftag (Übergangszeit, Fall 5) beträgt der Wärmeeintrag durch die Sportler 36 kWh und durch die Zuseher 54 kWh. Daraus ergibt sich für den Wettkampffall eine Aufteilung in 48% sensible und 52% latente Wärme.

Auf fünf Wochentage kommt im Jahresschnitt etwa ein Wettkampftag. Die Personenwärme in den Sporthallen wird also in 40% sensible und 60% latente Wärme aufgeteilt.

In den restlichen Räumen wird eine Wärmeleistung von 120 W/Person angenommen (80% sensibel, 20% latent; körperlich nicht tätig bis leichte Arbeit im Stehen bei 20°C, [19])

Für die Abbildung der Personenwärmen in der Simulation werden für jede Raumgruppe modulierende Profile erstellt. Die Profile für die Räume Halle 1-3, Studio und Tischtennisraum basieren auf den in 5.5.2 angegebenen Nutzungszeiten. Über die Personenanzahl und die Wärmeabgabe pro Person kann die gesamte Wärmeabgabe berechnet werden. In manchen Fällen kommt es vor, dass eine Gruppe sich auf 2 bzw. 3 Felder der Halle verteilt. Die in Abbildung 82 angegebene Personenanzahl bezieht sich jeweils auf ein Feld der Halle. Da in der Übergangszeit etwa die Hälfte der Turnstunden im Freien stattfinden wurde die Anzahl der Schüler je Feld in dieser Saison halbiert.

<i>Sportart</i>	<i>Personen je Hallenteil</i>	<i>Leistung [W/Person]</i>	<i>Leistung Gesamt [W]</i>	<i>sensibel [W]</i>	<i>latent [W]</i>
Putzen	1	200	200	160	40
Unterricht (Winter)	14	230	3220	1224	1996
Unterricht (Übergangszeit)	7	230	1610	612	998
Fußball	20	455	9100	3276	5824
Fußball (3 Felder)	7	455	3185	1147	2038
Außennutzer	15	455	6825	2457	4368
Hallenfußball	12	455	5460	1966	3494
Hallenfußball (3 Felder)	4	455	1820	655	1165
Hallenhockey	15	455	6825	2457	4368
Hallenhockey (2 Felder)	10	455	4550	1638	2912
Hallenhockey (3 Felder)	5	455	2275	819	1456
Volleyball	15	455	6825	2457	4368
Tischtennis	12	455	5460	1966	3494
Tischtennis (2 Felder)	8	455	3640	1310	2330
Tischtennis (3 Felder)	4	455	1820	655	1165
Wettkampf	-	650	-	-	-

**Abbildung 82:** Personenbelegung bei unterschiedlichen Sportarten

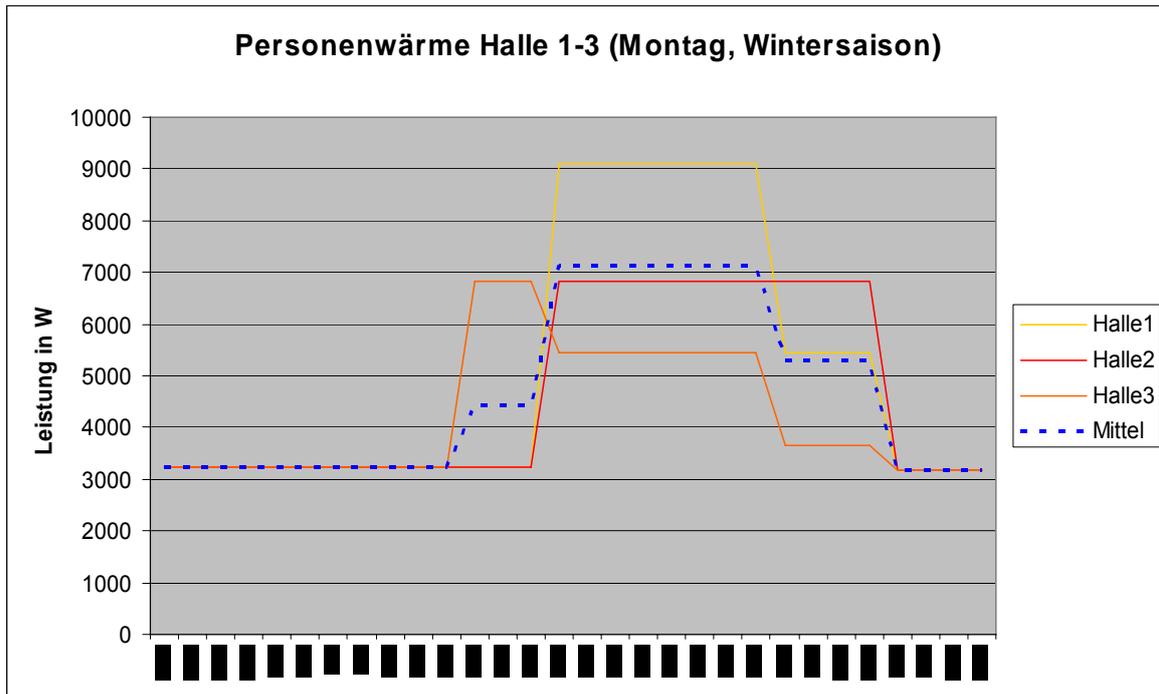


Abbildung 83: Personenwärmen der Hallen 1 bis 3 an einem typischen Wochentag

Abbildung 83 zeigt, dass die Profile der Hallen 1-3 nicht so stark vom Mittel der drei Hallen abweichen. Auch der gesamte Wärmeeintrag pro Tag ist relativ ähnlich:

Halle 1: 76 kWh/d

Halle 2: 70 kWh/d

Halle 3: 64 kWh/d

Um die Anzahl der Profile überschaubar zu halten, wird nicht für jeden Hallenteil ein eigenes Profil erstellt, sondern das gemittelte Profil eingesetzt. Das gemittelte Profil besteht aus den Stundenmittelwerten der drei Hallen. Der gesamte Wärmeeintrag des gemittelten Profils beträgt 70 kWh/d.

Während des Jahres treten 8 unterschiedliche Wettkampffälle auf. In Abbildung 84 wird aus diesen Fällen für jede Saison ein mittleres Wettkampfprofil gebildet.

Für jeden Wochentag wird auf Basis des Belegungsplanes 5.5.2 ein Tagesprofil erstellt. Diese werden dann zu Wochenprofilen zusammengefügt. Aus den Wochenprofilen werden Jahresprofile erstellt.

Die Profile in den Turnhallen sind so skaliert, dass der Maximalwert 1 einer Leistung von 10 kW entspricht. Tritt beispielsweise im Profil ein Wert von 0,7 auf, so entspricht das einer Wärmeleistung von 7 kW.

Saison	Fall	Zeit	Stunden	Sportart	# Sportler	W/Sportler	#Zuseher	W/Zuseher	W/Raum	Wh/d	#WE	Halle	
Winter (Sa)	1	8-15	7	FB	12	650	0	120	7800				
		16-20	4	TT	4	650	30	120	6200	79400	12	0.22	
	2	8-20	12	FB	12	650	200	120	31800	381600	3	1.06	
	3	8-12	4	TT	8	650	10	120	6400				
		13-16	3	TT	8	650	10	120	6400				
		17-20	3	VB	12	650	60	120	15000	89800	4	0.25	
	0.36												
	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Profilwert (8:00-20:00) <b>0.36</b> </div>												
	Winter (So)	4	8-20	12	FB	12	650	0	120	7800	93600	19	
0.26													
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Profilwert (8:00-20:00) <b>0.26</b> </div>													
Übergang (Sa)	5	8-12	4	TT	8	650	10	120	6400				
		13-16	3	TT	8	650	10	120	6400				
		17-20	3	VB	12	650	60	120	15000	89800	5		
	6	16-20	4	TT	4	650	30	120	6200	24800	8		
	7	13-16	3	VB	12	650	60	120	15000				
		16-20	4	TT	4	650	30	120	6200	69800	2		
	8	Frei										10	
	0.11												
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Profilwert (8:00-20:00) <b>0.11</b> </div>													

Abbildung 84: Berechnung Personenprofil Halle im Wettkampffall

Um die Personenwärme für die Umkleiden zu berechnen, wurde die mittlere Anzahl der Personen in allen Turnhallen (Halle1-3, Tischtennis, Studio) berechnet. Dieser Wert wurde auf die 3 Umkleiden aufgeteilt und mit dem jeweiligen Zeitfaktor multipliziert. Ein Sportler benötigt je Trainingseinheit (120 min) ca. 45 min zum Umkleiden und Duschen. Davon befindet er sich ca. 8 min im Waschraum (7% der Trainingseinheit) und 37 Minuten in der Umkleide (30 % der Trainingseinheit). Von 8 bis 15 Uhr wird die Halle hauptsächlich durch Schüler genutzt. Es wird angenommen, dass die Waschräume in dieser Zeit nicht benutzt werden.

Saison	Zeit	Personen		Zeitfaktor WR	Zeitfaktor UK	Leistung/ Person	Leistung WR	Leistung UK
		in allen Hallen	Personen in WR/UK					
		[ - ]	[ - ]	[ - ]	[ - ]	[W/Person]	[W]	[W]
Winter	8:00-15:00	53	17.7	-	0.3	120	-	636
	15:00-23:00	47	15.7	0.07	0.3	120	132	564
Übergang	8:00-15:00	28	9.3	-	0.3	120	-	336
	15:00-21:00	26	8.7	0.07	0.3	120	73	312
August	8:00-12:30	12	4.0	0.07	0.3	120	34	144
	15:00-21:00	12	4.0	0.07	0.3	120	34	144

**Abbildung 85:** Berechnung Personenprofil Waschräume und Umkleiden

In den Aufenthaltsräumen, Küche und Cafe werden folgende Benutzungszeiten angenommen:

Raum	Zeit	Personen		Leistung/ Person	Leistung WR
		[ - ]	[W/Person]		
Küche	14:00-24:00	1	120	120	120
	14:00-17:00	1	120	120	120
Cafe	17:00-21:00	8	120	960	960
	21:00-24:00	4	120	480	480
Aufenthaltsräume	8:00-17:00	1	120	120	120

**Abbildung 86:** Personenprofil Küche, Cafe, Aufenthaltsräume

Die Profile in den Räumen Küche, Cafe, Aufenthaltsraum, Waschaum und Umkleide sind so skaliert, dass der Maximalwert 1 einer Leistung von 1 kW entspricht. In den restlichen Räumen werden keine Personenwärmern angenommen.

#### 5.5.4 Wärmeeintrag Geräte und Sonstiges

Abgesehen von der künstlichen Beleuchtung kommt es nur in der Küche zu nennenswerten Einträgen durch Geräteabwärme. Die Abwärme eines Kühl- und Gefrierschranks wird durchgehend mit 250 W gerechnet ([14] E10). Während der Betriebszeiten der Küche, von 15:00 bis 24:00 kommt es zu einem Wärmeeintrag durch Elektroherd und Geschirrspüler. Diese wird mit 1.850 W angenommen, wobei 1.150 W sensibel und 700 W latent abgegeben werden ([14] E10, [19] S. 1661).

Gerät	Max. Leistung	Zeitfaktor	Mittl. Leistung	sensibel	latent
Kühlschrank	120	1	120	120	0
Gefrierschrank	130	1	130	130	0
E-Herd	5000	0.25	1250	950	300
Geschirrspüler	2400	0.25	600	200	400

**Abbildung 87:** Wärmeeintrag Küchengeräte

In den Waschräumen spielt auch der Wärmeeintrag durch die Duschen eine Rolle. Nach [21] beträgt die Abwassertemperatur einer Dusche bei einer Warmwassertemperatur von 40°C etwa 35°C. Bei einem Massenstrom von 1.400.000 kg/a (siehe 8.5) ergibt sich daraus ein jährlicher Wärmeeintrag von etwa 8.170 kWh. Umgelegt auf 3.300 Betriebsstunden und 3 Waschräume ergibt sich eine Leistung von 825 W je Waschraum. Nach [20] wird die entstehende Wärme zu ca. 55% sensibel (455 W) und zu 45% latent (370 W) abgegeben.

## 6 UNTERSUCHUNGSMETHODE/ VORGEHENSWEISE

Zunächst wird ein virtuelles Modell entwickelt, das hinsichtlich Geometrie und Raumanordnung alle notwendigen Bedingungen an die Sporthalle erfüllt (vgl. Kapitel 7). Alle folgenden Untersuchungen werden an diesem Modell durchgeführt.

In den Untersuchungsreihen wird das virtuelle Modell mit charakteristischen Gebäudeeigenschaften belegt. Dabei handelt es sich um Eigenschaften, die zu Beginn der jeweiligen Untersuchungsreihe kurz beschrieben werden, wie z.B.:

- Bauteileigenschaften, z.B. Anteil transparenter oder transluzenter Öffnungen, u-Werte, Werte für den Gesamtenergiedurchlassgrad und die Lichttransmission, usw.
- Lüftungsstrategie
- Gebäudetechnik

Anhand des virtuellen Modells werden thermisch-dynamische Gebäudesimulationen durchgeführt, um die Energiebilanzen aller Räume zu ermitteln. Alle physikalisch ablaufende Prozesse, wie solare Warmegewinne, dynamische Speicherprozesse usw. können so abgebildet werden. Raumtemperaturen und der Energiebedarf für Heizen, Kühlen, Entfeuchten, Warmwasserbereitung können ermittelt werden. Über eine Kopplung mit einer integrierten Tageslichtsimulation kann auch der Energiebedarf für Kunstlicht ermittelt werden, und zwar durch gesteuertes Hinzuschalten je nach Tageslichtsituation.

Weiterhin werden Tageslichtsimulationen mit Radiance zur Überprüfung der Blendung und Tageslichtsituation in der Dreifeldhalle durchgeführt.

Anhand von Strömungssimulationen werden die Effektivität der Lüftungsstrategien und die Behaglichkeit in Bezug auf Luftqualität sowie der räumlichen Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung untersucht.

Für jeden Untersuchungsschritt werden die Ergebnisse im jeweiligen Kapitel diskutiert. Die Ergebnisse für den Energiebedarf werden als Primärenergiewerte dargestellt, um die unterschiedlichen Wertigkeiten der Energieformen zu berücksichtigen, d.h. die vorgelagerte Prozeßkette zur Bereitstellung der Energie wird berücksichtigt.

Zunächst erfolgt jedoch eine Umrechnung der Nutzenergie auf Endenergie.

Hier liegen für die Raumwärme folgende Jahresnutzungsgrade zugrunde, die ein Standardsystem aus zentralem Heizkessel mit Verteilung zu den Verbrauchern abbilden: Der Nutzungsgrad des Kessels wird mit  $\eta_{\text{Kessel}} = 0,90$  (NT Kessel mit Gebläse, 120-350 kW, aus [16]), der Nutzungsgrad der Wärmeverteilung wird mit  $\eta_{\text{Vert}} = 0,88$  (55/45°C, L=250m, q=16 kWh/m a, aus [16]) angenommen. Daraus ergibt sich der Nutzungsgrad des Heizsystems zu:  $\eta_a = \eta_{\text{Kessel}} * \eta_{\text{Vert}} = 0,80$

Die Nutzenergie zur Kühlung wird über eine elektrisch betriebene Kompressionskältemaschine mit der Jahresarbeitszahl von 3,125 bereitgestellt.

Bei der Umrechnung von Endenergie auf Primärenergie werden folgende Primärenergiefaktoren verwendet [16]:

Heizöl EL: 1,14 [kWh<sub>Prim</sub>/kWh<sub>End</sub>]

Strom: 3,20 [kWh<sub>Prim</sub>/kWh<sub>End</sub>]

## 7 VIRTUELLES MODELL

Aufbauend auf den genannten Anforderungen für die Sporthalle in Puconci wurde ein virtuelles geometrisches Modell entwickelt, das sowohl als Grundlage für das sog. Ausgangsmodell als auch für die folgenden Optimierungsschritte dient. Es steht damit ein leistungsfähiges, detailgetreues digitales Modell zur Verfügung, um das genaue thermische Verhalten des Gebäudes durch numerische Simulationen physikalisch exakt abzubilden.

Die Gebäudeform und Raumaufteilung bleibt durch alle Optimierungsschritte so erhalten. Die Veränderungen am Gebäude – hervorgerufen durch die einzelnen Optimierungsschritte – wie z.B. Variationen im Fensterflächenanteile oder geänderte Lüftungskonzepte, werden im jeweiligen Kapitel besprochen.

Die Geometrie des virtuellen Modells entstand aufgrund erster Überlegungen zu einer energieeffizienten Gebäudeform und -gestaltung und bildet damit schon eine gewisse erste Optimierung ab. Angelehnt wurde die Gestaltung des virtuellen Modells stark an den vorliegenden Entwurf von DI Robert Smodis, der der Gemeinde Puconci am 30.06.2006 präsentiert wurde. Dieser Entwurf berücksichtigt bereits alle geschilderten Anforderungen des Raumprogramms (5.4.1Raumprogramm) und alle weiteren funktionellen Anforderungen und geht erste Schritte in Richtung einer guten Energieperformance.

Im folgenden soll die Geometrie des virtuellen Modells kurz beschrieben werden: Der abgebildete Gebäudekomplex weist eine NGF von 2.635 m<sup>2</sup> und ein umbautes Nettovolumen von 14.807 m<sup>3</sup> auf. Den Kern bildet die Dreifeldhalle mit einer Ausdehnung von 45m x 28m, einer Raumhöhe von 8m (7m lichte Höhe frei von Einbauten, 1m Höhe als Raum für Installationen und Tragwerk) und einer nahezu West-Ost-Orientierung (Verdrehung um 16°, nördliche Gebäudelängsseite Richtung West, vgl. **Abbildung 91** bis **Abbildung 93**). Die Dreifeldhalle kann durch eine raffbare textile Trennvorrichtung in drei unabhängige Drittelhallen aufteilt werden. Der Trennvorhang weist in der Regel im unteren Bereich eine dichte, schwere Struktur auf, während darüber eine leichte netzartige Beschaffenheit durchaus einen Austausch von Luft und Tageslicht gestattet. Im Wettbewerbsfall kann eine an der Südlängsseite der Dreifeldhalle zusammengefaltete aufbewahrte mobile Tribüne ausgefahren werden. Längs der Nordfassade der Dreifeldhalle sind die Geräteraume in der Weise angeordnet, dass jeder Drittelhalle ein Geräteraum mit eigenem Zugang zugeordnet ist. Dieser Block bietet auch noch Platz für einen Technikraum, der in erster Linie der Versorgung der Dreifeldhalle zugeordnet werden könnte.

An die südliche Längsseite der Dreifeldhalle schließen in eingeschossiger Ausführung die dienenden Räume Umkleiden und Körperpflege an, wobei die Verbindung zur Halle über einen Saubergang bewerkstelligt wird und die Verbindung zur Eingangszone mittels eines Schmutzanges erfolgt. Innerhalb dieses Blocks sind auch die Räume für Sport- und Klassenlehrer mit zugeordneten Waschräumen und WCs sowie ein weiterer Technikraum angeordnet.

Das zweigeschossige Foyer sitzt an der südöstlichen Gebäudeecke und verbindet die beschriebenen Umkleiden an der Südseite mit einem zweigeschossigen Gebäudeteil an der Ostseite. Es ermöglicht über das Hauptstiegenhaus und einen Lift auch den Zutritt zu einem schmalen Zuschauerbereich im Obergeschoss längs der Dreifeldhalle.

Der Gebäudeteil an der Ostseite beherbergt im Erdgeschoss Tischtennishalle, Vereinsraum und Besprechungsraum, im Obergeschoss Cafe, Imbissküche und Studio.

Die Tischtennishalle kann direkt mit der benachbarten Drittelhalle verbunden werden, um die Trainingsmöglichkeiten sinnvoll zu erweitern. Zur Erleichterung der Simulation wurden in diesem Bereich die zwei Räume Vereinsraum und Besprechungsräume aufgrund gleicher Randbedingungen zusammengefasst.

Das Gebäude ist um 10m von der Nordseite der Schule abgerückt, um einerseits gegenseitige Verschattung zu vermeiden und andererseits eine Durchfahrt für Feuerwehr- und Rettungsfahrzeuge zu ermöglichen. Eine Anbindung an das Schulgebäude erfolgt über einen unterirdischen Gang nahe der südwestlichen Gebäudeecke. Dieser Gang wird nicht in die Betrachtungen zum Energiebedarf miteinbezogen.

Folgende Gestaltungsmerkmale entspringen dabei bereits aus Überlegungen zu einer erhöhten Energieeffizienz:

- **Vermeidung einer Kühllast durch West-Ost-Orientierung:**

Falls für die Dreifeldhalle das Ziel einer hohen Tageslichtversorgung verfolgt wird, ist es – für den Fall der Abtrennung und einer vertikalen Tageslichtöffnung (Ausgangsmodell) - zumindest für die mittlere Drittelhalle nötig, über die Längsseite der Dreifeldhalle belichtet zu werden.

Bei West-Ost-Orientierung erfolgt eine Begrenzung der solaren Einstrahlung über die günstig orientierten transparenten Flächen in der Süd- und Nordfassade. Im Sommer wird so bei hochstehender Sonne eine zu starke solare Wärmelast durch die Südfassade vermieden.

Diese Überlegung wurde jedoch durch Vergleich zu einer anderen Orientierung noch verifiziert (vgl. Kapitel 9.1.1).

- **Thermische Zonierung von Raumgruppen:**

Bei der Anordnung von Räumen ist die Gruppierung nach thermisch gleich konditionierten Räumen sinnvoll, so dass ungewünschte Wärmeverluste in Räume mit anderem Temperaturniveau möglichst vermieden werden.

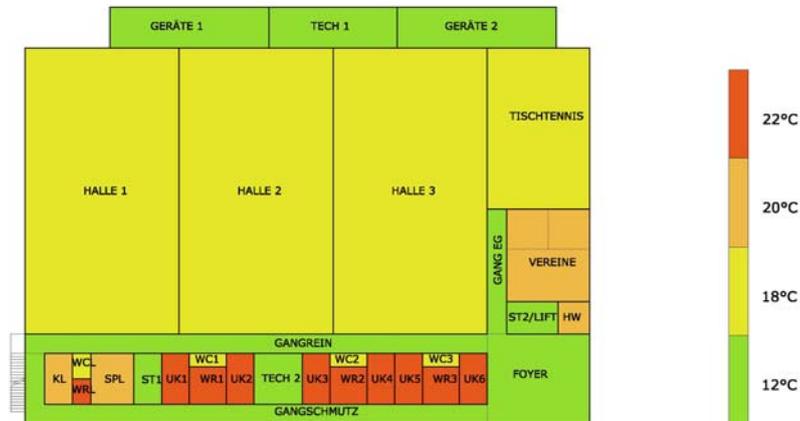
Ein bekanntes Prinzip, das solch einen Gedanken verfolgt, ist die Anordnung von Räumen nach dem sog. Zwiebschalen-Prinzip an. Dazu werden Räume mit hoher Temperatur innen angeordnet, gefolgt von Räumen mit abnehmend gestaffeltem Temperaturniveau.

Die Ausgangsvariante bildet im Bereich der Umkleiden und Waschräume dieses Konzept ab. Der außenliegende Schmutzgang dient hier im Winter als thermischer Puffer und reduziert die Transmissionsverluste der hoch temperierten Umkleiden und Waschräume nach außen. Der Schmutzgang fungiert als Ein- und Austrittsbereich ohne längere Aufenthaltsfunktion, so dass im Winter eine Temperatur von 12°C ausreichend ist. Er profitiert zudem bei der Beheizung in geringem Ausmaß von den Wärmeverlusten der Umkleiden. Im Sommer können im Schmutzgang durchaus ähnlich hohe Temperaturen wie im Außenraum toleriert werden. Durch die Wahl eines geeigneten Fensteranteils von 23% in Form von Dachfenstern gelingt es, ihn ausreichend mit Tageslicht zu beleuchten und gleichzeitig weder Heizen noch Kühlen zu müssen. Dieselbe Funktion übernimmt der Reingang als Übergangszone zwischen den warmen Umkleiden und der kühleren Sporthalle.

Die Anordnung der Geräteräume an der Außenseite der Dreifeldhalle ist sinnvoll, da hier eine geringere Temperatur möglich ist und wiederum die Transmissionsverluste der Halle vermindert werden. Dies funktioniert umso besser,

je konsequenter die Türen nur kurzzeitig geöffnet werden, um den thermischen Puffer nicht unnötig aufzuheizen.

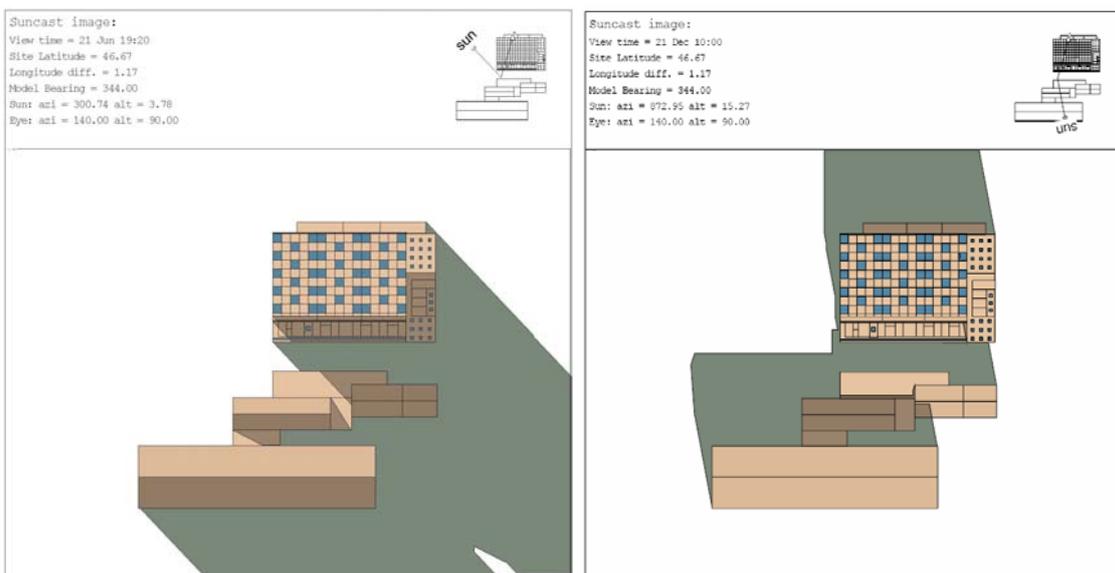
**Abbildung 88** zeigt das Prinzip der thermischen Zonierung durch Visualisierung der unterschiedlichen Temperaturniveaus in den Gebäudebereichen.



**Abbildung 88:** Thermische Zonierung der Ausgangsvariante im Erdgeschoß

- **Vermeidung negativer Auswirkung von Gebäude auf die Umgebung und umgekehrt:**

Durch Abrücken des Gebäudekomplexes von der Schule wird eine gegenseitige Verschattung vermieden und die Möglichkeit von optimalen Tageslichtverhältnissen geschaffen. Dies wäre besonders dann notwendig, wenn eine hochwertige Nutzung im nördlichen benachbarten Schulflügel integriert werden sollte. Auch der Schmutzgang und das Foyer erhalten natürlich damit günstigere Belichtungsverhältnisse. Im Winter kommt es bei dieser Situierung am Vormittag zu einer teilweisen Verschattung der nördlichen Liegenschaft. Die Verschattung der Schule tritt im Sommer erst in den Abendstunden auf. Da hier zu dieser Zeit kein Betrieb stattfindet ist diese unerheblich. **Abbildung 89** zeigt eine Verschattungsstudie im Winter und im Sommer.



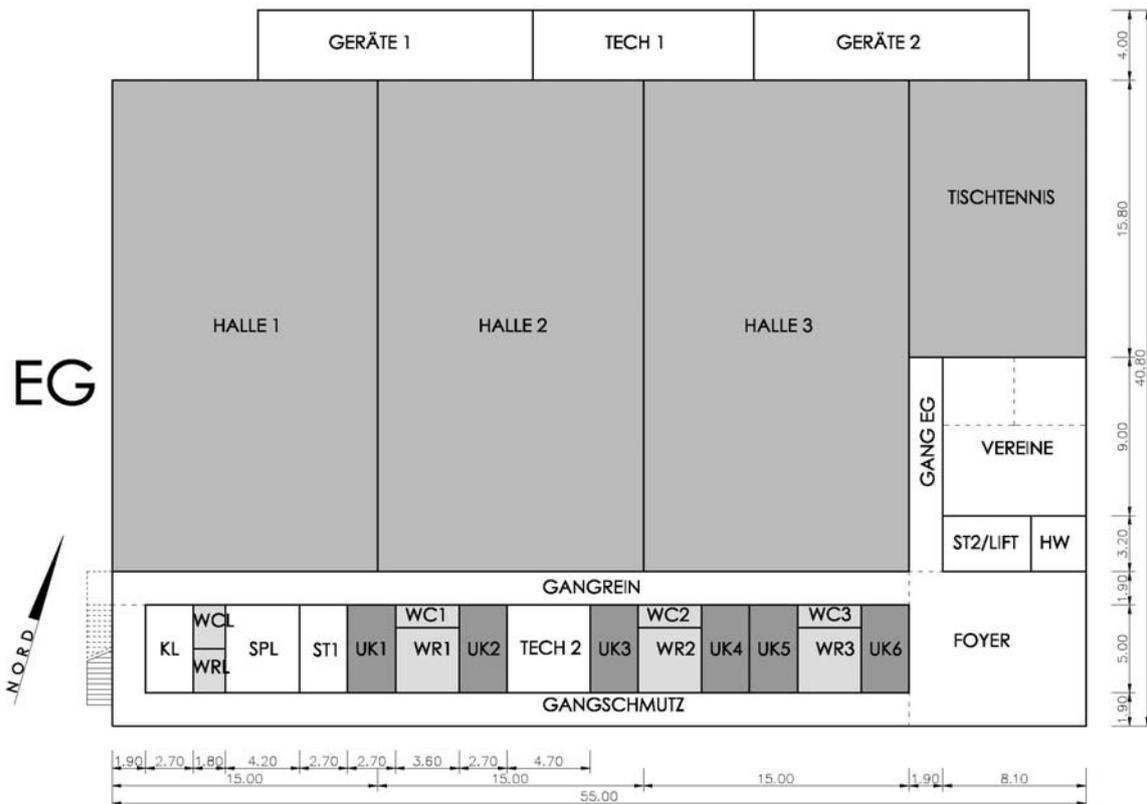
**Abbildung 89:** Verschattungsstudie Juni und Dezember

- **Kompakte Bauweise mit möglichst geringem Ressourcenaufwand**

Das Gebäudevolumen wurde aus folgenden Gründen als kompakter Baukörper geplant:

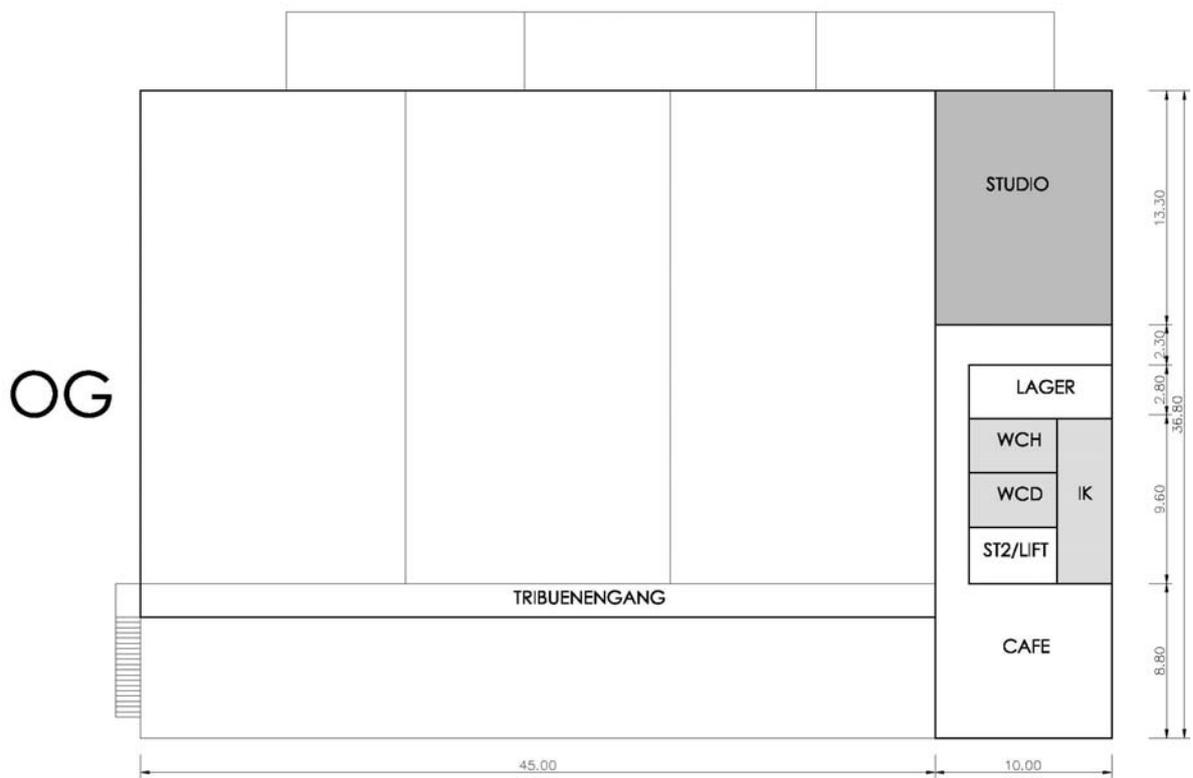
Bei der vollständigen Bewertung der Energieeffizienz eines Bauwerks muss die Herstellungenergie mit einbezogen werden. Die Bauweise sollte möglichst kompakt erfolgen, so dass weniger Ressourcen an Baustoffen verbraucht werden und der Aufwand zur Herstellung von Bauteilen gering ist. Exzessiver Landverbrauch sollte kritisch hinterfragt werden.

In diesem Zusammenhang ist auch die Anforderung, zwei Gänge (Schmutz- und Saubergang) zu planen, zu sehen.



Legende: SPL: Kabinett für Sportlehrer; KL: Kabinett für Klassenlehrer; ST: Stiegenhaus; UK: Umkleide; WR: Waschraum; Tech: Technikraum; HW: Hallenwart

**Abbildung 90:** Virtuelles Modell, Erdgeschoß



Legende: ST: Stiegenhaus; IK: Imbissküche

Abbildung 91: Ausgangsmodell Obergeschoß



Abbildung 92: Ausgangsmodell Schnitt



**Abbildung 93:** Ausgangsmodell Ansichten

## 8 AUSGANGSMODELL

Im Ausgangsmodell soll bereits ein Niveau erreicht werden, das dem eines energieeffizienten Standards entsprechen soll.

### 8.1 BAUTEILE

Die Bauteile werden in der Ausgangsvariante als Standardaufbauten mit erhöhtem Wärmeschutz angenommen. Die einzelnen Bauteile zeichnen sich durch folgende Kennwerte aus:

	Außenwand	Fenster	Dach	Erdberührter Boden
u-Wert [ $W/m^2 \cdot K$ ]	0,30 / 0,31	1,3	0,20	0,25
g-Wert [-] (Gesamtenergiedurchlaßgrad)	-	0,64	-	-
T-Wert [-] (Lichttransmissionsgrad)	-	0,81	-	-

Abbildung 94: Bauteileigenschaften im Ausgangsmodell

Zusätzliche statisch erforderliche Konstruktionen, wie Stützen bleiben unberücksichtigt.

Die Belichtung der Dreifeldhalle erfolgt über drei Meter hohe Lichtbänder an der Nord- und Südfassade, was 43% der jeweiligen inneren Fassadenfläche entspricht. Die Lichtbänder erstrecken sich über die gesamte Länge von 45m. Folgende Überlegungen liegen dabei zugrunde:

- Im Wettkampffall liegt die Spielrichtung in Richtung der Stirnflächen der Dreifeldhalle. Für diesen Fall sollte eine Blendung in der direkten Spielrichtung vermieden werden, was Fensterflächen an den Stirnseiten ausschließt
- Nur durch eine Anordnung in den Längsseiten wird auch die mittlere Halle bei Abtrennung eigenständig belichtet. Dies ist für einen unabhängigen Betrieb nötig.
- Ost- und Westfassaden sind sowohl im Sommer wie im Winter durch tief stehende Sonne besonders blendungsgefährdet.

Wie in Kapitel 5.3.3 Licht geschildert, stellt die Tageslichtbeleuchtung über Oberlichter eine sinnvolle Maßnahme dar. In diesem Sinn werden 5% der Dachfläche mit Dachoberlichtern versehen. Als Blendschutz wird unter den Oberlichtern und auf der Südfassade ein fix montiertes Netz mit einer Verschattung von 50% vorgesehen. Ein Sonnenschutz wird auf Grund der erwarteten geringen Kühllast nicht eingeplant. Die kurzzeitige Blendung durch tief stehende Sonne auf der Nordfassade zwischen 15:00 und 18:00 Uhr wird in dem Ausgangsmodell nicht berücksichtigt.

Das Studio und die Tischtennishalle haben einen Nutzerschwerpunkt in den Nachmittags- und Abendstunden. Die Belichtung erfolgt daher ohne Blendschutz über Oberlichter auf der Ostfassade. Das Studio hat eine Belichtungsfläche von 40% der Ostfassade, die Tischtennishalle von 30%.

Die Vereineräume, der Hallenwartraum und die Imbissküche sind an der Ostfassade situiert und werden über 18% Fensterflächen mit Tageslicht versorgt. Fenster sind in diesen Aufenthaltsräume unbedingt notwendig.

Das Foyer ist im Eingangsbereich teilverglast, um den Bezug zum öffentlichen Raum herzustellen. Im Osten mit 38%, im Süden mit 33%.

Die Umkleiden, Waschräume und die Räume für Lehrpersonal sind mit Oberlichtern zu 20% der Wandfläche zum Schmutzgang belichtet.

30% der Südfassadenfläche des Schmutzgangs sind mit einer Fensterreihe versehen um genug Licht für die angrenzenden Räume zu gewährleisten.

## 8.2 LÜFTUNG

Die Dreifeldhalle mit Tribüningang im Obergeschoß wird als ein großer Raum betrachtet und mechanisch belüftet. Die Geräteräume und der Technikraum sind unbelüftet.

Der Osttrakt und der Südtrakt sind in mechanisch belüftete Räume und mechanisch unbelüftete Räume aufgeteilt:

Belüftet: Studio, Tischtennisraum, Cafe, Vereinsräume, Hallenwartraum, Imbissküche, WCs, Umkleiden, Waschräume, Räume für Lehrpersonal,

Unbelüftet: Foyer, Gänge, Technikraum, Stiege mit Lift

Die Infiltration der außenliegenden Volumina ist bestimmt durch die Luftdurchlässigkeit der Fenster- und Türfugen.

Nicht öffnbare Fenster sind generell als Fixverglasung angenommen, sie erhalten einen Fugenkoeffizienten von 1,16 [l/(s\*m) bei 1Pa] entsprechend Klasse 2 nach ÖNORM EN 12207.

Öffnbar sind Oberlichter in den Fassaden der Dreifeldhalle, Studio und Tischtennishalle sowie alle Fenster im Cafe und Schmutzgang. Hier wird ein Wert von 2,15 [l/(s\*m) bei 1Pa] gemäß Klasse 1 nach ÖNORM EN 12207 gewählt.

Alle Innentüren werden mit 6 [l/(s\*m) bei 1Pa] angenommen. Die Undichtigkeit von Bauteilfugen wird mit 0,01 [l/(s\*m) bei 1Pa] nach DIN 4180 – 2 angenommen. Die außen liegenden Fassaden werden bezüglich ihrer Windexposition als halbfreie Lage gerechnet.

Der zuzuführende Luftvolumenstrom entspricht dem hygienisch notwendigen Luftvolumenstrom. Dieser errechnet sich je nach Nutzung aus dem pro Stunde und Person notwendigen Luftvolumenstrom. Abbildung 95 zeigt die angenommenen Luftvolumenströme für die einzelnen Räume. Die Anlage wird während der gesamten Betriebszeit mit dem Auslegungsvolumenstrom für die maximale Belegungsdichte betrieben (Konstantvolumenstromanlage). Mit dieser Leistung können nicht nur alle Situationen im täglichen Schul- und Trainingsfall bewältigt werden, sondern auch der „kleine“ Wettkampffall, da hier nur vergleichsweise wenige Besucher (50 Personen) anwesend sind und gleichzeitig die Sportlerdichte abgenommen hat. Für den Wettkampffall 2 mit ca. 400 Zusehern, ist die Anlage zu klein dimensioniert. Da dieser Fall nur 3-mal im Jahr eintritt, wird angenommen, dass über Fensterlüftung oder ein Hilfssystem zusätzlich belüftet wird. Dieser Fall wird wegen der geringen Häufigkeit in der Jahressimulation nicht berücksichtigt, jedoch gesondert durch eine Strömungssimulation untersucht, um zu überprüfen, ob das Konzept funktioniert.

	Zeit	Luftwechsel	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Quellwerte
CAFE	8:00-24:00	1,1	526	35 m <sup>3</sup> /h Person (SLO)
IMBISSKÜCHE	14:00-24:00	6	612	Siehe Abb.text
SPL, VEREIN, KL,HW	8:00-24:00	1,1	418	35 m <sup>3</sup> /h *Person(SLO)
WC	8:00-24:00	2	310 (vergleichsmässig)	9 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> (SLO)
UMKLEIDE	8:00-24:00	6	1214	9 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> (SLO)
WASCHRAUM	15:00-24:00	2,8	1004 (vergleichsmässig)	7 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> (DIN EN 13779)
HALLE/TT/STUDIO	-	0,6	6000	60 m <sup>3</sup> /h Person (DIN 18032-1)

**Abbildung 95:** Luftvolumenströme für mechanischen Luftwechsel, Quelle: Für Turnhallen DIN 18032-1, für Waschräume gemäß DIN EN 13779, für Kleinküchen ist in [15] ein stündlicher Luftwechsel von 15-25 [1/h] angegeben. Da die Küche nur zum Zubereiten von Imbissen genutzt werden soll, wird ein stündlicher Luftwechsel von 6 [1/h] angenommen, für alle übrigen Räume: Slowenische Richtlinie

Die Belüftung wird in der Simulation über 2 getrennte Lüftungszentralen abgebildet. Die Turnräume (Halle1-3, Studio, Tischtennisraum) werden über eine Anlage mit einem Gesamtvolumenstrom von 6000 m<sup>3</sup>/h bei einer Zulufttemperatur von 18°C (isotherm) versorgt, alle restlichen Räume über eine zweite Anlage mit einem Gesamtvolumenstrom von ca. 4100 m<sup>3</sup>/h und einer Zulufttemperatur von 20°C.

Die Lüftungsanlage ist mit einer Wärmerückgewinnungsanlage ausgestattet, welche einen Temperaturrückgewinnungsgrad von 50% aufweist, die Effektivität der Lüftungsanlage wird mit 3,8 W/(l\*s) angesetzt, was nach einer Marktstudie dem Mittelwert der in Deutschland in Betrieb befindlichen Anlagen entspricht und auch oft jetzt noch bei herkömmlicher Planung erreicht wird (vgl. [29]).

### 8.3 INNERE LASTEN

Unter inneren Lasten werden die in den Räumen auftretenden Lasten infolge von Personen, Geräten und Licht verstanden.

Personenlasten treten, wie im Kapitel 5.5 Nutzungszeiten, -profile und -szenarien beschrieben, je nach Nutzungsfall (Schulsport, Vereinssport, Wettkampffall) auf. Es wurde Wert auf eine besonders detaillierte Abbildung dieser Lasten gelegt, um ihren Einfluss auch exakt erfassen zu können.

Gerätelasten treten nur für die Imbissküche auf, siehe Kapitel 5.5.4.

Das Einschalten des Kunstlichts wird an eine Tageslichtsimulation gekoppelt, so dass in Abhängigkeit der erreichten natürlichen Tageslichtversorgung das Kunstlicht dann gezielt hinzugeschaltet wird, wenn die notwendige Beleuchtungsstärke nicht mehr erreicht wird.

Die notwendige Beleuchtungsstärke wird nach DIN EN 12193 für den Schul- und Trainingbetrieb einheitlich mit 300 lux angenommen, für die Wettkampfsituation werden 750 lux angenommen (vgl. 5.5.1, slowenische Richtlinie). Damit wird für den Schul- und Trainingsbetrieb gegenüber der slowenischen Richtlinie eine Vereinheitlichung vorgenommen (Slowenische Richtlinie: Schulbetrieb lt. Richtlinie 250 lux, Trainingsbetrieb 200 bis 300 lux).

Im Ausgangsmodell soll die Kopplung zwar vorhanden, jedoch noch nicht durch eine Sensorsteuerung automatisiert sein, sondern durch aufmerksame engagierte Nutzer gesteuert werden. Dennoch wird es den Nutzern nicht möglich sein, eine exakte Schwelle, nämlich die notwendige Beleuchtungsstärke, einzuhalten. Die implementierte „Steuerung“ geht davon aus, dass der Nutzer einerseits zu früh einschaltet (im Schul- und Trainingsfall bereits bei 350 lux statt bei 300 lux) und andererseits wieder zu spät ausschaltet (wiederum erst bei 350 lux statt bei 300 lux). Der Energiebedarf wird dabei gegenüber einer optimalen Steuerung noch etwas überschätzt.

In Räumen ohne Tageslicht wurde ein Nutzungsfaktor angenommen, der angibt, zu welchem Teil der Nutzungszeit das Licht eingeschaltet ist.

Die notwendige Intensität des eingeschalteten Kunstlichts (installierte Leistung) in  $W/m^2$  wird in Abhängigkeit der notwendigen Beleuchtungsstärke, der Raumgeometrie, Leuchte und Betriebsmittel durch das sog. Wirkungsgradverfahren bestimmt:

$$p = \frac{E_m}{WF \times \eta_S \times \eta_{LB} \times \eta_R} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

mit  $E_m$  : geforderte mittlere Beleuchtungsstärke 300/750 [lux]

WF: Wartungsfaktor 0,67 [-]

$\eta_S$  : Systemlichtausbeute des Leuchtmittels 87 [lm/W]

$\eta_{LB}$  : Leuchtenbetriebswirkungsgrad 0,7 [-]

$\eta_R$  : Raumwirkungsgrad 0,76 [-]

Es ergibt sich für die Dreifeldhalle eine zu installierende Leistung von ca.  $10 W/m^2$  für Schul- bzw. Trainingsbetrieb bzw.  $23 W/m^2$  für den Wettkampfbetrieb.

**Abbildung 96** zeigt die angenommene Leistung für alle Räume. Die gesamte Leistung wird im Raum als Wärme freigesetzt.

Raum	Notwendige	Leistung
	Beleuchtungsstärke	
	[lux]	[W/m <sup>2</sup> ]
Halle	300/750	10/23
Tischtennis	300	10
Studio	300	10
Waschraum	200	7
Umkleiden	200	7
Imbissküche	500	15
WC	200	7
Aufenthaltsräume	300	10
Gang	200	7
Cafe	300	10

**Abbildung 96:** Installierte Leistungen für künstliche Beleuchtung, z.T. aus Tabelle G17/1 aus [14]

## 8.4 HEIZEN UND KÜHLEN

In den unterschiedlichen Sollwerten für Heizen und Kühlen spiegelt sich der bereits ausgeführte Gedanke der Zonierung wider.

Täglich – ausgenommen im nutzungsfreien Monat Juli – werden die Räume gemäß den folgenden Sollwerten konditioniert:

	Sollwert Heizen [°C]	Sollwert Kühlen [°C]
Dreifeldhalle und Zusatzsporträume	18	24
Waschraum	22	-
Umkleide	22	-
WC	18	-
Stiegenhaus, Gänge, Nebenräume	12	-

Zwischen 24:00 und 06:00 wird in allen Räumen eine Nachtabsenkung auf 15°C durchgeführt.

## 8.5 WARMWASSERBEREITUNG

Der Nutzenergiebedarf der Warmwasserbereitung wird über die Personenanzahl, Warmwasserbedarf pro Person und Stunde und Dauer des Duschvorgangs bestimmt.

Erfahrungsgemäß werden die Duschen im Schulbetrieb nur sehr selten genutzt. Deshalb werden im Personenprofil nur Vereinspersonen und externe Nutzer berücksichtigt.

Auf Basis der DIN 18032-1 (2003) werden für die Ermittlung des Wasserbedarfs der Duschen folgende Werte angenommen:

Volumenstrom: 10 l/min  
 Duschzeit je Duschvorgang: 4 min  
 Wasservolumen je Duschvorgang: 40 l

Warmwasserentnahmetemperatur: 40° C  
 Kaltwassertemperatur: 10 °C

Eine typische Sparteinheit dauert zwei Stunden. Der Wasserbedarf pro Stunde und Sportler beträgt also 20 [l/h Pers] bei 40° Warmwassertemperatur. Aus den Belegungsprofilen ergeben sich für Vereinssportler und externe Nutzer die Profile für das Duschen. Durch Simulation mit den detaillierten Profilen wurde die Nutzenergie für die WW-Bereitung ermittelt, die Verluste bei Verteilung (Zirkulations- und Zapfleitung) und Speicherung wurden rechnerisch bestimmt.

Verluste Zirkulationsleitung:	3.470 [kWh/a]
Verluste Zapfleitung:	960 [kWh/a]
Verluste Wärmespeicherung:	1.810 [kWh/a]
Summe Verluste:	6240 [kWh/a]

Die Verluste betragen damit rd. 10% der Endenergie (ohne Erzeugungsverluste, Summe aus Nutzenergie und Verteil- und Speicherverlusten).

## 8.6 SIMULATIONSERGEBNISSE

Die Simulation der Ausgangsvariante ergab einen Primärenergieverbrauch von 574 MWh pro Jahr für den gesamten Komplex.

Den Schwerpunkt des Energieverbrauchs stellt sowohl der Bedarf an Elektrizität durch Luftförderung und Beleuchtung dar, als auch der Bedarf an Wärme zur Beheizung und Warmwasserbereitung.

Der Energiebedarf für künstliche Beleuchtung ist relativ hoch, da ein großer Teil der Nutzung in den Nachtstunden im Winter liegt. Trotzdem erreichen wir in Raummitte bereits einen Daylightfaktor von rd. 5. Damit ist der in DIN 5034 empfohlene mindestens einzuhaltende Daylightfaktor von 4 bereits erreicht. Eine Optimierung sollte untersuchen, ob noch eine Erhöhung der Tageslichtnutzung möglich ist. Da Licht zwingend Strom – eine sehr hochwertige Energieform – als Betriebsmittel benötigt, und nicht durch andere Betriebsmittel substituiert werden kann, wäre eine Einsparung hier sinnvoll. Zudem besteht immer ein gewisses Abhängigkeitsverhältnis zu den Energieversorgern als Erzeuger. Weit wichtiger ist jedoch die bestehende starke Blendung zu begrenzen. Entsprechende Maßnahmen sollten auf jeden Fall versuchen, dadurch die Tageslichtverfügbarkeit nicht zu verschlechtern, Möglichkeiten wären die Verwendung lichtstreuender Materialien oder eine stärkere Belichtung über die Decke.

Aufgrund der geringen Fensterflächen ist die benötigte Kühlenergie relativ gering, da die solaren Gewinne moderat sind und die inneren Lasten der Nutzer nicht so stark ins Gewicht fallen. Auch hier ist anzustreben, diesen Anteil so gering wie möglich zu halten bzw. idealerweise komplett zu eliminieren. Es wäre schlecht, allein wegen des nur geringen Kühlbedarfs ein aufwendiges Raumsystem zur Kühlung und in der Folge auch ein System zur Kältebereitstellung vorsehen zu müssen. Zudem wird auch die Kälteerzeugung meist auf herkömmliche Art durch eine Kompressionskältemaschine bewerkstelligt, die wiederum hochwertigen Strom benötigt.

Die Gesamtheizenergie ist aufgeteilt dargestellt in die verursachenden Komponenten Infiltration, Transmission und gezielte Lüftung über die mechanische Anlage. Zusätzlich ist der Bedarf für die Warmwasserbereitung ablesbar.

Auffällig ist der in der Summe relativ hohe Bedarf an Heizenergie. Nimmt man die Warmwasserbereitung heraus, so sind es noch 33% am Gesamtenergiebedarf.

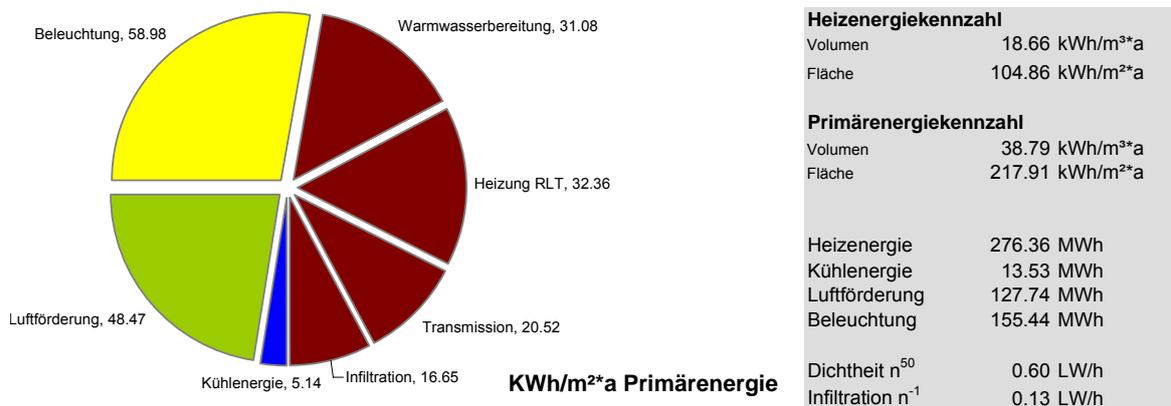


Abbildung 97: Gesamtenergieverbrauch Primärenergie

### Verteilung des Energiebedarfs auf die Räume

Die Analyse der Aufteilung auf die Räume zeigt eine Dominanz der Hallen.

Die Aufschlüsselung des Lichtenergiebedarfs nach Räumen zeigt ein ähnliches Bild. Die Dreifeldhalle und das Cafe, mit ihrer starken Nutzung in den Abendstunden verbrauchen am meisten Energie für die Beleuchtung. Ein Hauptaugenmerk sollte deshalb in jedem Fall auf die Halle gelegt werden.

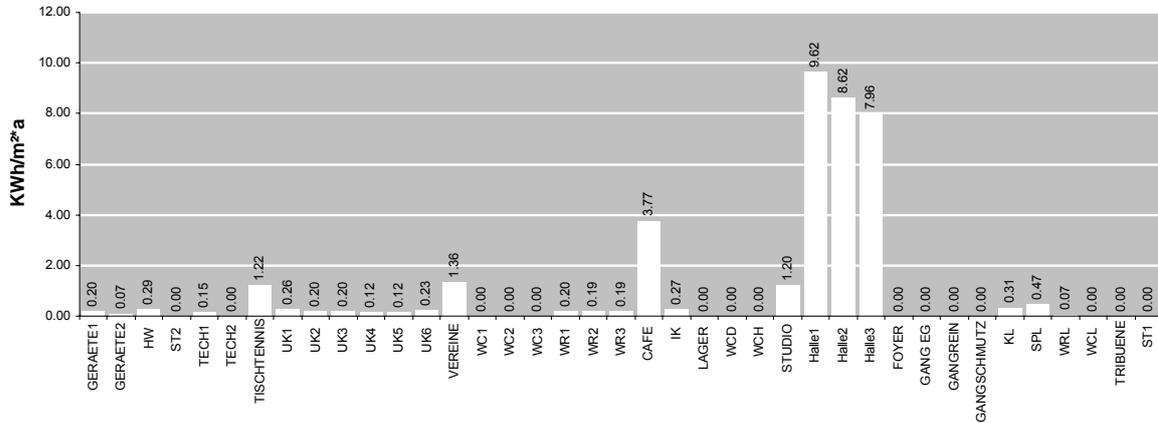


Abbildung 98: Aufteilung der Primärenergie: Raumheizung

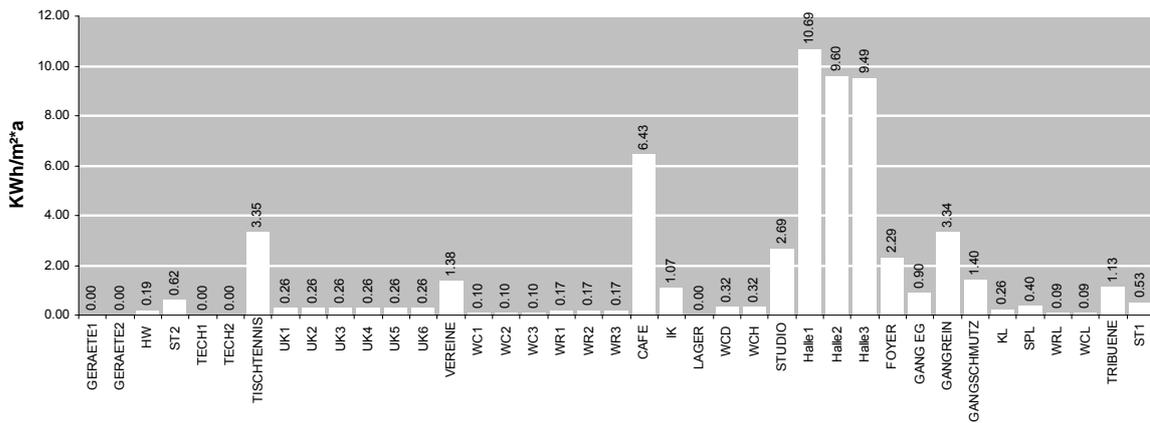


Abbildung 99: Aufteilung der Primärenergie: Lichtenergieverbrauch

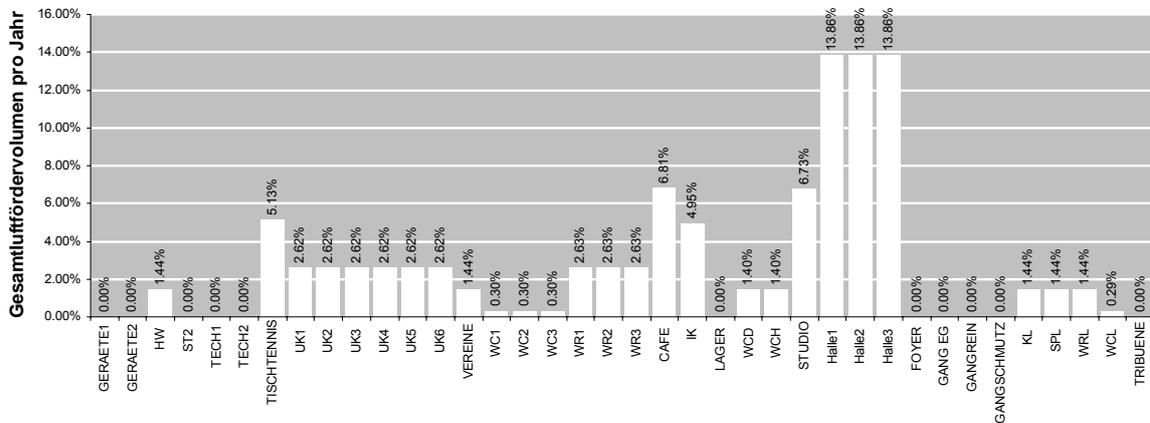


Abbildung 100: Aufteilung des Gesamtluftfördevolumens

### Ansatzpunkte für die Optimierung

Angeregt durch die Heizenergiebilanz werden in einer ersten Phase folgende Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit überprüft.

- Einfluss der Situierung, speziell einer veränderten Ausrichtung und einer Absenkung in den Boden, auf die Heizenergie und die Gesamtenergiebilanz. Diese Untersuchung muss auch den erhöhten Energieaufwand für den zusätzlichen Aushub der Baugrube berücksichtigen.
- Verminderung der Infiltrationsverluste durch eine verbesserte Dichtigkeit der Gebäudehülle
- Verminderung der Transmissionsverluste durch eine verbesserte Wärmedämmung des Gebäudes. Diese Untersuchung muss auch den erhöhten Energieaufwand bei der Herstellung der Dämmstoffe berücksichtigen.

In der zweiten Phase werden die Möglichkeiten zur Verbesserung der Tageslichtnutzung und der Blendungssituation untersucht.

Eine Einsparmöglichkeit bietet mit Sicherheit auch der Energiebedarf zur Luftförderung, z.B. durch Steigerung der Effizienz einer etwaigen Anlage oder ihrer Fähigkeit zur Wärmerückgewinnung.

Untersuchenswert erscheint auch die Luftversorgung über ein natürliches oder hybrides System, das keine oder wenig Energie zur Luftförderung benötigt. Vor allem für das geometrisch einfache Volumen der Halle, bei dem eine unkomplizierte Versorgung direkt über die Außenfassade möglich erscheint, sollte dieser Ansatz überprüft werden.

Bei der Bewertung der einzelnen Maßnahmen wird immer die Auswirkung auf die Energiebilanz des gesamten Gebäudes untersucht.

## 9 UNTERSUCHUNGSREIHEN

### 9.1 SITUIERUNG

Die Situierung und Orientierung der Dreifeldhalle ist durch die Enge des Grundstücks nur begrenzt variierbar. Als Variante wird dennoch die Drehung der Ausgangsvariante um 90° nach Westen simuliert sowie eine Absenkung um ein Geschoss.

#### 9.1.1 Drehung

Die Ausgangsvariante wird um 90° nach Westen verdreht. Die Belichtungsflächen der Dreifeldhalle bleiben in den Längsfassaden und sind damit nach Osten und Westen orientiert. Die Blendung in den Morgen- und Abendstunden ist dadurch stark erhöht. Der fixe Blendschutz mit 50% Verschattung wird an allen Belichtungsflächen der Halle, des Studios und der Tischtennishalle angeordnet.

Das Ergebnis zeigt in Summe eine Verschlechterung der Tageslichtausbeute. Der Hauptanteil der Halle im Energiebedarf für Beleuchtung wird hier deutlich. Diese negative Auswirkung auf die Lichtsituation tritt ein, da die natürliche Belichtung zu einem großen Teil über die Fassade geschieht und damit stark richtungsabhängig ist. Die verminderten solaren Gewinne wirken sich negativ auf die Heizlast und positiv auf die Kühllast aus. Die Gesamtenergiebilanz verschlechtert sich im Vergleich zur südorientierten Ausgangsvariante (vgl. Ergebnisse im Zusammenhang mit der abgesenkten Bauform im Kapitel 9.1.2).

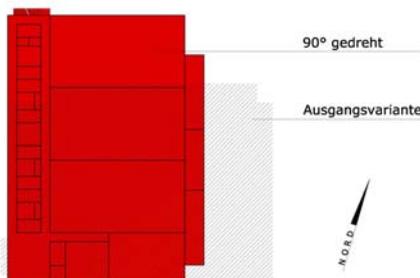
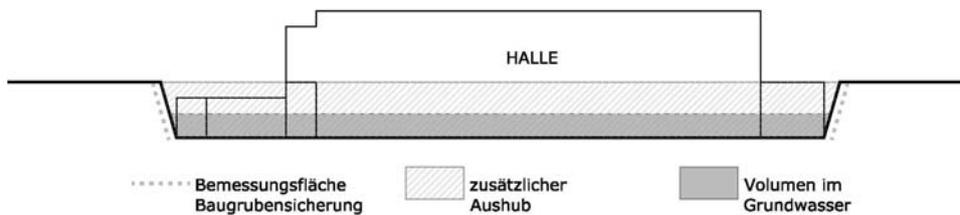


Abbildung 101: Verdrehung des Ausgangsvariante um 90° nach Westen

#### 9.1.2 Abgesenkte Bauform

Um das Gebäude im Umfeld der benachbarten Bauten harmonisch zu situieren, kann eine Absenkung der Halle in Betracht gezogen werden und wird daher ebenfalls simuliert.

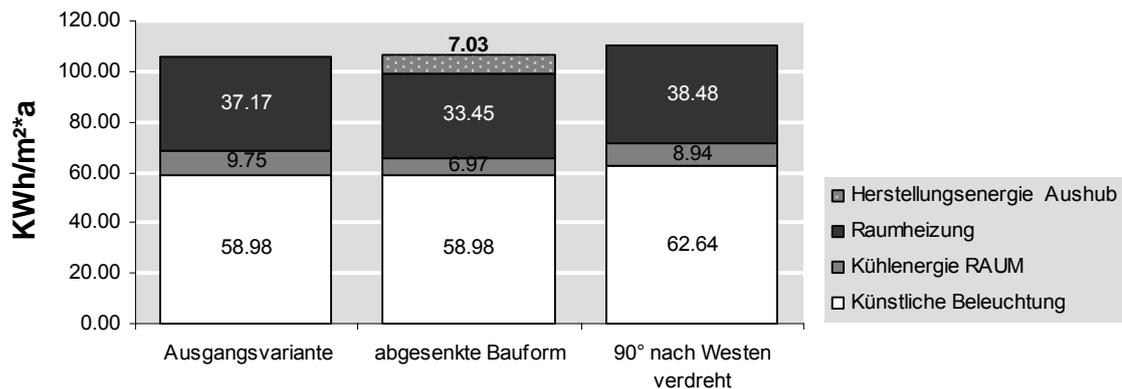
Simuliert wird eine Absenkung von einer Geschoßhöhe (vgl. **Abbildung 102**). Ziel der Untersuchung ist die Analyse der verminderten Transmission durch das Erdreich und die Auswirkung auf Kühl- und Heizlast. Um eine direkte Aussage zur energetischen Performance zu erhalten wird die erdberührte Wand mit dem gleichen u-Wert gerechnet, wie eine außenluftberührte. Es wird angenommen, dass keine Verschlechterung der Lichtsituation auftritt. Als negativer Aspekt der Energiebilanz gilt die zusätzliche Herstellungenergie des Aushubs.



**Abbildung 102:** Berechnungsflächen für den zusätzlichen Aushub und zusätzliche Tiefbauarbeiten

Erschwerende Bedingungen wie die aufwendigen Abdichtungsmaßnahmen im Grundwasserbereich und die eventuell erforderliche zusätzliche Statik des Hallenbodens wegen Auftriebs wird nicht eingerechnet. Der hohe Grundwasserstand von 2m unterhalb der Geländekante wirkt sich verschlechternd auf die Herstellungenergie des Aushubs aus und wurde explizit gemäß [32] berücksichtigt. Die Berechnung der zusätzlichen Herstellungenergie für die Baugrube ergibt einem Energieaufwand von 556MWh. Umgelegt auf eine Lebensdauer des Bauwerks von 30 Jahren werden 7KWh/m<sup>2</sup>\*a benötigt.

Der hohe Primärenergieaufwand für die Baugrube gleicht die Gewinne durch die Verminderung der Transmission gegen das Erdreich aus. Es ist daher keine Energieeinsparung durch eine abgesenkte Bauweise zu erwarten.



**Abbildung 103:** Primärenergetischer Vergleich der Situierungsvarianten

## 9.2 GEBÄUDEHÜLLE – WÄRMEDÄMMUNG UND DICHTIGKEIT

Die energetischen Eigenschaften der Gebäudehülle sind von grundlegender Bedeutung für den Energiehaushalt eines Gebäudes. Innerhalb dieses Kapitels wird der Einfluss der Wärmedämmung und der Dichtigkeit auf Transmission und Infiltration untersucht.

### 9.2.1 Wärmedämmung

Bei der Variation der Wärmedämmung soll nicht nur die Veränderung der Transmissionswärmeverluste ermittelt, sondern auch die Auswirkungen auf die Kühlenergie und die Herstellungenergie betrachtet werden. Eine pauschale Aussage „mehr Wärmedämmung = bessere Energiebilanz“ ist nicht richtig.

Untersucht werden die Varianten mit maximalem u-Wert, also minimaler Dämmung nach slowenischer Vorschrift, die Ausgangsvariante und eine Variante im Passivhausstandard. Die Gebäude bleiben in ihren übrigen Eigenschaften und technischer Ausrüstung unverändert.

Untersucht werden die beeinflussten Parameter künstliche Beleuchtung (infolge veränderter Verglasung), Raumheizung, Kühlenergie im Raum und Herstellungenergie der Wärmedämmung und Verglasung.

**Abbildung 104** und **Abbildung 105** zeigen die Bauteileigenschaften der Gebäudehülle für die untersuchten Varianten.

u-Werte [W/m <sup>2</sup> *K]	Ausgangsvariante	min. WD	WD Passivhaus
Außenwand	0.30	0.60	0.13
erdber. Boden	0.25	0.45	0.15
Dach	0.20	0.25	0.09

**Abbildung 104:** u-Werte der opaken Bauteile in den untersuchten Varianten

Fensterkennwerte	Zweischeibenverglasung Ausgangsvariante	Zweischeibenverglasung min. WD	Dreischeibenverglasung WD Passivhaus
g-Wert (BS-EN 410)	0.64	0.64	0.46
u <sub>w</sub> -Wert	1.35	1.35	0.94
τ-Wert	0.81	0.81	0.72

**Abbildung 105:** τ-Werte, u<sub>w</sub>-Werte der Fenster in den untersuchten Varianten

#### Minimale Wärmedämmung

Die Variante mit minimaler Wärmedämmung ergibt in der Gesamtenergiebilanz eine deutliche Verschlechterung auf Grund der hohen Transmissionswärmeverluste in der Heizperiode. Die verstärkte Wärmeabgabe ermöglicht in der Kühlperiode, in dem Zeitraum mit einer niedrigeren Außentemperatur als Raumtemperatur, eine Reduktion der Kühllast (vgl. **Abbildung 106**).

#### Wärmedämmung nach Passivhausstandard

Durch den niedrigen Energiedurchlasswert der Dreischeibenverglasung erhöht sich der Kunstlichtbedarf. Gleichzeitig werden die solaren Gewinne reduziert, so dass die Kühllast reduziert wird. Durch die besseren Dämmeigenschaften der Fenster und der opaken Bauteile reduziert sich der Heizwärmebedarf. Die Primärenergie zur Bauteilherstellung der Verglasung erhöht sich um 52%, die der Wärmedämmung um 72%. In Summe ist der Energiebedarf höher als in der angenommenen Ausgangsvariante (vgl. **Abbildung 106**).

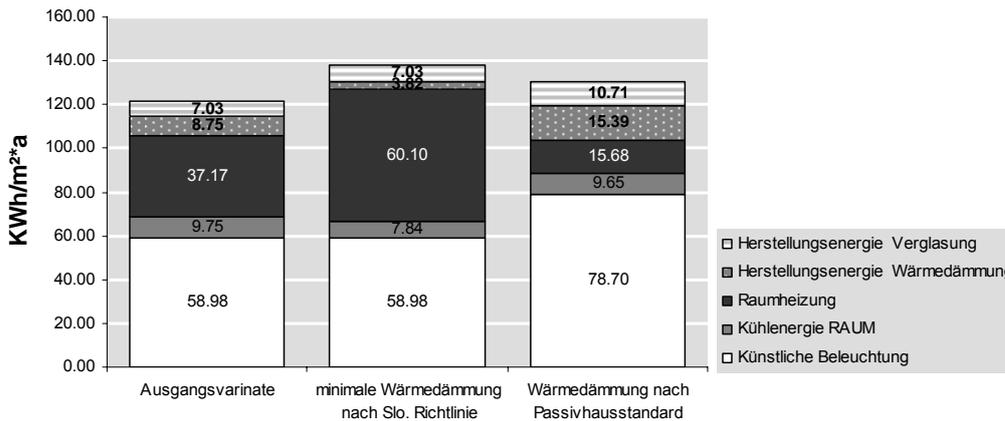


Abbildung 106: Primärenergetischer Vergleich der Dämmvarianten

Zur Einsparung von Herstellungsenergie bietet sich die Verwendung von alternativen Baustoffen an. Zwei Bauteilgruppen bieten hier das größte Potenzial. Die Wärmedämmung der Wände und eventuell der Dachkonstruktion und statisch gering beanspruchte Massivbauteile wie Speicherwände oder Ausfachungen in der Rahmenbauweise.

Verglichen wird die Herstellungsenergie von zwei in der Ausgangsvariante angenommenen Standardbaustoffen mit lokal vorhandenen alternativen Baustoffen Lehm und Stroh [31], [33].

statisch gering anspruchte Massive Bauteile	Stahlbeton	Lehm
Herstellungsenergie [KWh/m³]	781	167
Einsparung	0%	79%

Wärmedämmung	EPS	Stroh
Herstellungsenergie [KWh/m³]	577	3
Einsparung	0%	99%

Abbildung 107: Potenzial alternativer Baustoffe zur Einsparung von Herstellungsenergie

### 9.2.2 Herstellungsenergie

Für die Betrachtung des Dämmstandard in Kapitel 9.2.1 wurden nur die für die Betrachtung direkt veränderlichen Herstellenergien (für Dämmung und Verglasung) ausgewiesen.

Um die im Laufe der Untersuchung ermittelten Betriebsenergien (für Heizung, Kühlung, Kunstlicht und Luftförderung) ganzheitlich einordnen zu können, soll exemplarisch am Ausgangsmodell auch die gesamte Herstellenergie des Gebäudes ermittelt werden.

Die Ermittlung der Herstellungsenergie für den Ausbau ist in diesem Stadium nicht exakt möglich, da es sich hier um keine Massen, sondern um die Qualität der Materialien handelt. Als Abschätzung können auf den Wert des Rohbaus 10% aufgeschlagen werden [32].

### Gesamtherstellungsenergie

Die Primärenergie zur Herstellung der Ausgangsvariante beträgt 4,42GWh.

Die meiste Energie wird benötigt zur Errichtung des Rohbaus. Die Anteile von Ausbau und Gebäudetechnik betragen 10% und 12%.

### Herstellungsenergie des Rohbaus

Die Baumassen der Sporthalle werden ermittelt und die Primärenergie berechnet [31]. Dabei ergibt sich für die Ausgangsvariante eine Gesamtherstellungsenergie des Rohbaus von 3,32 GWh. Umgelegt auf eine Lebensdauer der Bauteile von durchschnittlich 30 Jahren werden  $43 \text{ kWh}_{\text{prim}}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  benötigt.

### Gebäudetechnik

Studien zur Herstellungsenergie von Gebäudetechnik sind zur Zeit kaum vorhanden und beziehen sich meist auf Anlagen für Wohnbauten oder Bürobauten.

Für eine Abschätzung der Herstellungsenergie eines RLT-Zentralgerätes wird die Literaturquelle [32] herangezogen und die Herstellungsenergie auf die Leistung der beiden Zentralen der Ausgangsvariante umgelegt. Die Herstellungsenergie der Leitungen und Schächte wird nach der zu erwartenden Masse ermittelt. Daraus ergibt sich ein Energieaufwand zur Herstellung der Raumluftechnischen Anlage von 70 MWh. Umgelegt auf eine Lebensdauer der Komponenten von durchschnittlich 20 Jahren werden  $2 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  benötigt.

Zur Ermittlung der Werte für die übrige technische Installation werden Referenzen von Bürogebäuden und Mehrparteienwohnbauten herangezogen [30]. Die erforderliche Primärenergie zur Herstellung der gesamten Gebäudetechnik beträgt 0,5GWh. Umgelegt auf eine Lebensdauer der Bauteile von durchschnittlich 20 Jahren werden  $9,5 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  benötigt. Daraus ergibt sich der Anteil der Gebäudetechnik an der Gesamtherstellungsenergie von 12%.

## 9.2.3 Dichtigkeit

Die Dichtigkeit der Gebäudehülle trägt wesentlich zur Heiz- und Kühllast bei. Die unkontrolliert ausgetauschte Luft transportiert einen großen Teil an Energie. In wenigen Ausnahmesituationen hat dies einen positiven Einfluss auf die Energiebilanz. In der Jahresbilanz fällt dieser Beitrag jedoch meist negativ aus. Untersucht wird der Einfluss der Infiltration auf den Heiz- und Kühlbedarf mit einem Fokus auf die Dreifeldhalle, da hier die meisten außenluftberührten Oberflächen und 71% der Fensterflächen vorhanden sind. Der Anteil der Dreifeldhalle an der gesamten Infiltration beträgt 70%.

### Ausgangsvariante

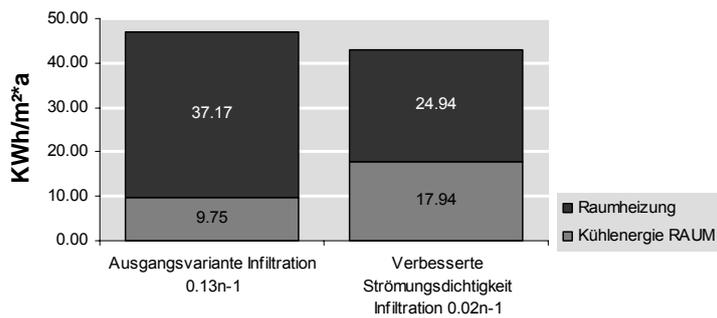
Die Gebäudehülle der Ausgangsvariante wird in der Simulation mit einer Infiltration von  $0,13 \text{ LW}/\text{h}$  angenommen. Ein Anteil von 13% des Raumluftvolumens des gesamten Komplexes wird in einer Stunde durch undichte Fugen ausgetauscht. Die Ermittlung dieser Infiltration bezieht sich auf die Norm EN 12207 mit einer Undichtigkeitsklasse 1 für offenbare Fenster und Klasse 2 für die Fixverglasungen. Die Undichtigkeit der Bauteilfugen wird nach DIN 4108 – 2 bewertet.

Der Volumenstrom durch Infiltration beträgt in der Halle im Vergleich zum benötigten hygienischen Luftwechsel 37%. Eine Verbesserung der Luftdichtheit ist daher empfehlenswert.

### Ausgangsvariante mit verbesserter Dichtigkeit der Gebäudehülle

Als Verbesserung der Fugen wird die Klasse der offenbaren Fenster auf 3 und die Klasse der Fixverglasung auf 4 erhöht. Der Anteil der Bauteilfugen an der Infiltration ist unbedeutend, wenn sie nach den Regeln der Technik ausgeführt werden.

Die Infiltration beträgt in dieser Variante  $0,02 \text{ LW}/\text{h}$ .



**Abbildung 108:** Primärenergetischer Vergleich Verbesserung der Dichtigkeit

Die Verbesserung der Fugendichtigkeit bringt eine deutliche Reduktion der Heizenergie. Das Kühlpotenzial der Außenluft wird hier nicht mehr unkontrolliert genutzt. Dadurch erhöht sich der Kühlbedarf. Dem kann mit einer kontrollierten Lüftung entgegnet werden.

Der Volumenstrom durch Infiltration beträgt in der Halle im Vergleich zum benötigten hygienischen Luftwechsel nun 7%. Eine Einhaltung der gewählten Dichtigkeitsklassen ist ratsam. Der gemessene Luftaustausch pro Stunde bei 50 Pa Druckunterschied sollte nach der Fertigstellung des Rohbaus bei 0,11 n<sup>50</sup> liegen.

Alle nachfolgenden Vergleiche mit der Ausgangsvariante beziehen sich auf die Ausgangsvariante mit verbesserter Dichtigkeit (Infiltration von 0,02 LW/h)

### 9.3 TAGESLICHTNUTZUNG

Die Optimierung der Tageslichtausnutzung ist ein gewichtiger Faktor in der Energiebilanz einer Sporthalle. Die benötigte elektrische Energie wird meist von externen Anbietern bezogen. Der Primärenergieaufwand zur Herstellung von elektrischer Energie ist ein Vielfaches der tatsächlich nutzbaren Energie. Der slowenische Energiemix ist zu einem Großteil aus Kernkraft und fossilen Energieträgern zusammengestellt. Zudem ist die ökonomische Abhängigkeit von Anbietern dieser Energieträger gegeben.

Der Kunstlichtbedarf in der Sporthalle ist ein Hauptanteil des Gesamtenergieverbrauchs. In der Optimierungsphase wird neben den Energieeinsparungen auch die Synergie mit anderen Komponenten wie Heizung und Lüftung betrachtet. Das oft in Sporthallen auftretende Problem der Blendung und der ungleichmäßigen Ausleuchtung wird in die Betrachtungen der Tageslichtqualität einbezogen. Die Größe und Anordnung von Fensterflächen ist energetisch ein Abwägen zwischen der Einsparung an Beleuchtungsenergie, Erhöhung des Kühlbedarfs und eventuell Einsparung an Heizenergie. Zudem ist zu überprüfen, wie sich solare Gewinne und erhöhte Transmissionsverluste von Fenstern gegenüber Wandflächen auf die Energiebilanz auswirken.

In der ersten Stufe der Untersuchung wird die Ausgangsvariante hinsichtlich der Qualität und des Potenzials des Tageslichts untersucht.

In der zweiten Stufe wird eine Optimierung nach Raumgruppen vorgenommen. Die Lichtanalyse der Dreifeldhalle getrennt von den anderen Räumen durchzuführen erscheint deswegen sinnvoll, da die Situierung und Ausrichtung der Dreifeldhalle durch die vorherrschenden Rahmenbedingungen vorgegeben ist.

Die Anordnung und Ausrichtung der übrigen Räume dagegen ist abweichend vom Ausgangsmodell je nach Entwurf in einer Vielzahl von Varianten möglich. Eine Analyse und Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle wird daher in dieser Phase nur als Studie mit dem Ziel einer einfachen Verbesserung gegenüber der Ausgangsvariante durchgeführt. Die individuelle Optimierung ist nur in Zusammenhang mit einem konkreten Entwurf zielführend.

#### 9.3.1 Analyse der Ausgangsvariante

Gegenstand der Untersuchung ist die Ermittlung des theoretischen Potenzials zur Verbesserung der Tageslichtnutzung (theoretisch nutzbare Tageslichtmenge) und der Qualität der Belichtung.

Die Qualität des Tageslichts wird hinsichtlich Gleichmäßigkeit und der auftretenden Blendung bewertet. Die Analyse der Blendung wird an zwei kritischen Sonnenstandssituationen bei einem bewölkten Himmel ermittelt.

##### Tageslichtpotenzial

Der Energiebedarf für Kunstlicht der einzelnen Räume im gesamten Nutzungszeitraum wird als Grundlage der weiteren Analyse ermittelt (vgl. **Abbildung 109**). Die Hauptgruppen Dreifeldhalle mit Tribüne, das Studio, die Tischtennishalle, das Cafe mit Imbissküche und die Erschließungsflächen tragen den Hauptanteil. Die Umkleiden, die Sanitärräume und die Nebenräume sind für die weitere Optimierung sekundär.

Die Verglasung entspricht einer Standard Zweischeibenverglasung mit einem  $u_w$ -Wert von  $1,3\text{W/m}^2\text{K}$ , einem  $g$ -Wert von  $0,64$  und einem  $\tau$ -Wert von  $0.81$ .

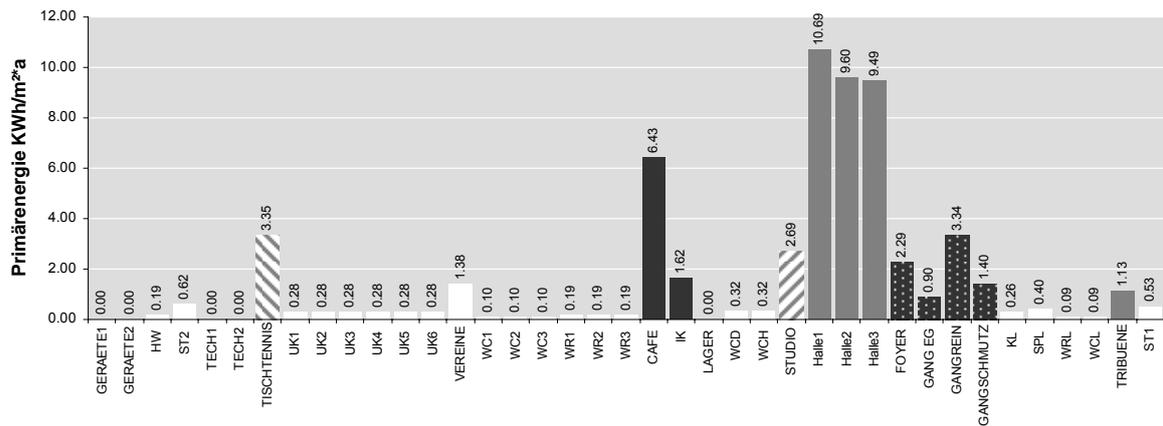


Abbildung 109: Aufteilung der Beleuchtungsenergie der Ausgangsvariante A3

Für die relevanten Raumgruppen wurde nun ermittelt, zu welchen Anteilen der Kunstlichtbedarf während der Nacht, der Dämmerung oder am Tag besteht. Als Tagstunden werden die Stunden bezeichnet, an denen Kunstlicht im Ausgangsmodell benötigt wird, obwohl im Außenraum eine Beleuchtungsstärke herrscht, die theoretisch bei einem uniformen Himmel ausreichen würde, um die gesamte geforderte Beleuchtungsstärke im Raum zu erreichen (beim vorhandenen als fest angenommenen Daylightfaktor von rd. 10). Da die Beleuchtungsstärke zu diesen Stunden im Außenraum jedoch gerade nicht durch gleichmäßige Beleuchtung zustande kommt und durch eine starke Richtungsabhängigkeit geprägt ist, müsste die Fassade auch in alle Richtungen und für alle Sonnenhöhen geöffnet werden, um das Potential zu nützen. Dieses Ziel kann im Fall der Sporthalle nicht erreicht werden, da bestimmte Fassaden (West und Ost) aus Blendungsgründen geschlossen bleiben müssen und sogar jetzt geöffnete Fassaden ein Blendungsproblem haben.

Damit bleibt das in **Abbildung 110** ausgewiesene Potential für die Tag- und Nachtstunden theoretisch, gezeigt wird allerdings, dass auch bei kompletter Öffnung aller Fassaden natürlich der Nachtanteil mit einer Größenordnung von rd. 50% nicht im Energiebedarf für Kunstlicht reduziert werden kann.

Somit bleibt folgender Handlungsbedarf:

Verbesserung der Blendungssituation möglichst ohne Verminderung der bereits erreichten Tageslichtversorgungsgrades sowie der Versuch der Optimierung der Tageslichtbeleuchtung über größere Öffnungen (und damit eines erhöhten Daylightkoeffizienten), wobei besonders auf den gleichzeitigen Einfluss auf Heiz- und Kühlbedarf zu achten ist.

Auf Grund der Dominanz der Dreifeldhalle wird diese in der weiteren Bearbeitung getrennt von den anderen Räumen betrachtet.

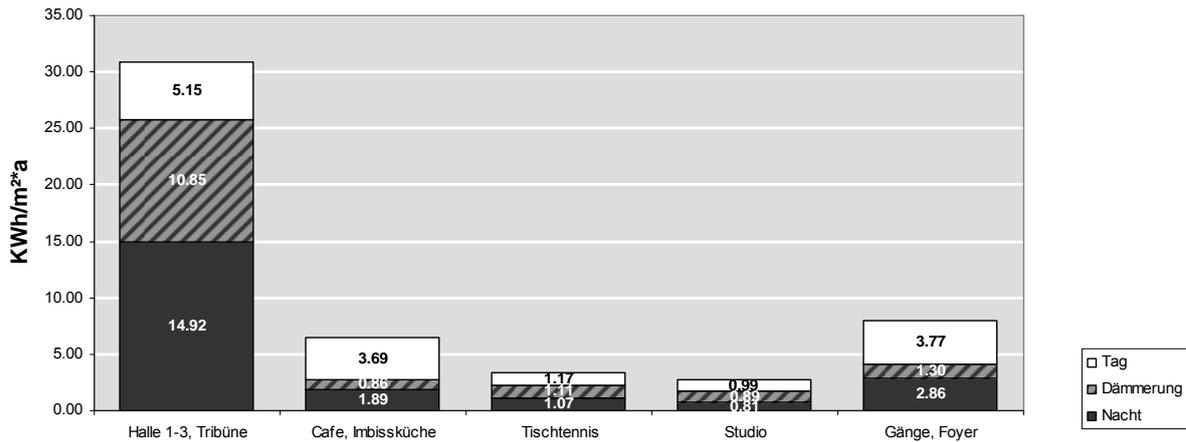


Abbildung 110: Anteile Tag – Dämmerung – Nacht am Kunstlichtbedarf der Ausgangsvariante A3

### Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung bei einer Standardbelichtung über die Fassade

Die gleichmäßige Ausleuchtung einer Sportfläche ist ein wichtiges Qualitätskriterium, vor allem bei Wettkämpfen. Es gibt zwei grundsätzliche Aussagen zur Bewertung der Ausleuchtung. Der erste Fall ist die Lichtverteilung auf dem Hallenboden bei bewölktem Himmel. Dabei ist der auftretende Leuchtdichtenkontrast meist gering und wenig störend. Der damit ermittelte Daylightfaktor gibt an, wieviel Prozent des im Freien vorhandenen Lichts im Raum vorhanden ist. Der zweite Fall tritt bei einer direkten Sonneneinstrahlung auf. Hier kommt es in einem Großteil der Sporthallen zu scharfem Schattenwurf und Silhouetteneffekt. Dieser Fall ist stark störend und macht einen regulären Wettkampf unmöglich.

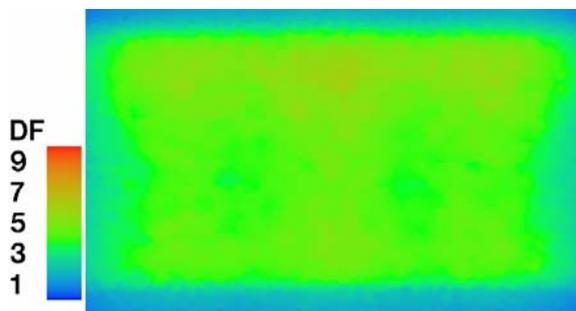


Abbildung 111: Daylightfaktor am Boden der Dreifeldhalle der Ausgangsvariante

Bei bewölktem Himmel ist die Ausleuchtung sehr homogen. Dieses Ergebnis wird nur durch eine gleichmäßige Verteilung der Fensterflächen in der Fassade erzielt. Eine einseitige Anordnung von Fenstern ist in einer Sporthalle zur Beleuchtung ungeeignet. Der dunkle Rand ist bedingt durch die nicht bis zum Boden reichende Fassadenverglasung

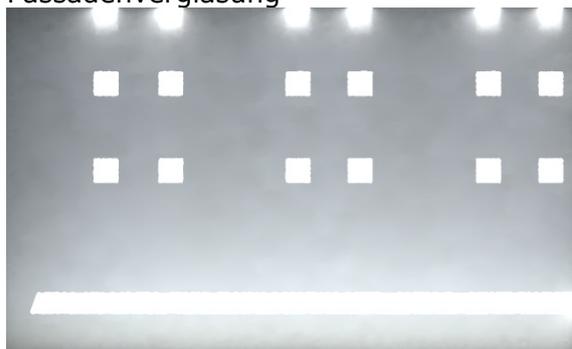


Abbildung 112: Lichteinfall auf dem Boden der Dreifeldhalle an einem sonnigen Tag 12:00

Das Ergebnis zeigt einen scharfen Lichteinfall der Südverglasung und der kleinen punktuellen Oberlichter. In dieser Situation ist ein störungsfreier Spielbetrieb nicht gewährleistet.

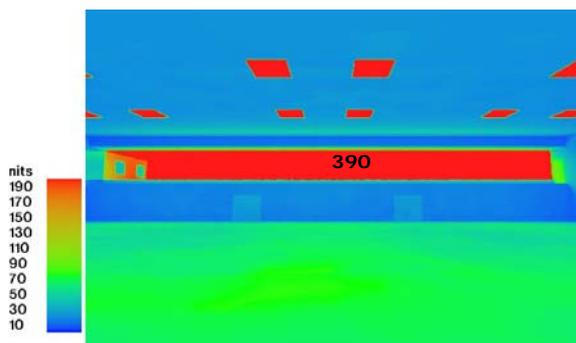
#### Blendung in der Sporthalle bei einer Standardbelichtung über die Fassade

Die Blendungsproblematik von Fassadenbelichtungsflächen wird anhand der Ausgangsvariante untersucht. Es werden zwei Lichtsituationen ermittelt, die einen repräsentativen Blendungsfall darstellen. Für die Südfassade wird die tief stehende Sonne am 21. Dezember um 10:30 Uhr betrachtet. Die Blickrichtung Süden ist kohärent mit der Spielrichtung in einer Einzelhalle.

Die größte Blendung auf der Nordfassade besteht bei tief stehender Abendsonne. Die größte Blendung tritt hier bei der Spielrichtung Westen auf. Als Zeitpunkt wird der 15. Mai um 18:00 Uhr gewählt.

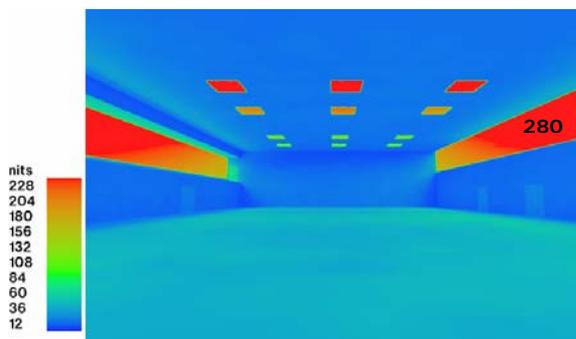
Als Referenzwert für den Himmel wird ein CIE-standard overcast sky gewählt.

Das Auftreten von Blendung wird immer dann ausgegeben, wenn die jeweilige Leuchtdichte in nits (entspricht  $\text{candela}/\text{m}^2$ ) das 7fache der durchschnittlichen Leuchtdichte im betrachteten Raumwinkel (Blickwinkel auf die Fläche) überschreitet. Blendung tritt im simulierten Winterfall ab 140nits auf. Die Blendung aus Süden übersteigt diesen Grenzwert mit 390nits.



**Abbildung 113:** Ausgangsvariante: Spielrichtung Süden 21. Dezember 10:00

Blendung tritt im simulierten Sommerfall ab 230nits auf. Die Blendung aus Westen übersteigt diesen Grenzwert mit 280nits.



**Abbildung 114:** Ausgangsvariante: Spielrichtung Süden 15. Mai 18:00

Bereits bei bewölktem Himmel ist die Blendung über die Fassaden trotz Blendschutz zu groß. Eine Verbesserung des Blendschutzes ist bei einer Beleuchtung über Fassaden dringend erforderlich. Die daraus zu erwartende Verringerung der Tageslichtausbeute stellt ein Problem dar.

Das Cafe und die Gänge bieten ebenfalls Einsparungsmöglichkeiten, die jedoch stark von der Anordnung und Ausrichtung im Entwurf abhängen. Innen liegende Gänge ohne Belichtung sind bei einer tageslichtoptimierten Planung zu vermeiden, eine aufwendige Lichtlenkung ist gegebenenfalls gesondert zu bewerten. Hier spielen Faktoren wie Herstellungsenergie und Wartungsaufwand eine zu berücksichtigende Rolle.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Beleuchtung in den Abendstunden ist lediglich durch effizientere Beleuchtungsmittel leicht zu verbessern. Das Potenzial der Dämmerung lässt sich durch eine bedarfsgerechte Lichtsteuerung noch senken. Bei dieser sensorgesteuerten Regelung wird nur soviel Kunstlicht eingeschaltet, wie zur Erzielung der benötigten Beleuchtungsstärke erforderlich ist.

Die Optimierung der Tageslichtnutzung hat das Ziel ein Maximum an Tageslicht bei gleichzeitiger Minimierung der Blendung zu erreichen. Hierzu ist in erster Linie das Bauwerk und nicht die Beleuchtungstechnik zu optimieren.

#### 9.3.2 Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle

Die Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle fokussiert sich auf das Cafe, die Gänge und das Studio. Der Anteil der Tischtennishalle ist gering und eine Optimierung ist nur durch aufwendige Lichtlenkung möglich, da in dieser Variante keine zusätzlichen Außenflächen für Fenster zur Verfügung stehen. Das vollflächige Verglasen der Ostfassade ergibt keine signifikante Verbesserung der Lichtsituation. Die erste Phase der Optimierung besteht in der verbesserten Anordnung der Fensterflächen im Vergleich zu der Standardanordnung.

Im Studio, im Cafe und in der Imbissküche werden 10% der Dachfläche mit 1m<sup>2</sup> großen Oberlichtern gleichmäßig verglast. Das Cafe behält aus Gründen des direkten Ausblicks die bisherigen Fenster in der Ost und Westfassade. Im Studio werden die Fenster in der Fassade beibehalten. In der Imbissküche werden die Fenster in der Fassade entfernt. Gleich ist die Vorgehensweise im Schmutzgang. Dort werden die Fassadenfenster ebenfalls entfernt und durch ein Oberlichtband im Dach ersetzt. Im Erdgeschoß werden die Fenster des Hallenwartraums und der Vereinsräume bis an die Unterkante der Decke höher gesetzt. Dadurch ergibt sich eine verbesserte Ausleuchtung der Räume, da das Licht tiefer in den Raum einfällt.

Die Oberlichter im Dach werden mit einem variablen außen liegenden Sonnenschutz mit 50% Transmissionsanteil ausgestattet. Die Steuerung des Sonnenschutzes ist tageslichtoptimiert. Der Sonnenschutz wird erst zugefahren, wenn keine Beeinträchtigung der Lichtsituation bewirkt wird. Dadurch wird sichergestellt, dass kein unnötiges Kunstlicht eingeschaltet werden muss. Zur Reduzierung der Kühllast werden die Oberlichter ab einer Innentemperatur von 23°C geöffnet, wenn die Außentemperatur einen positiven Einfluss auf die Kühlung des Raums ermöglicht.

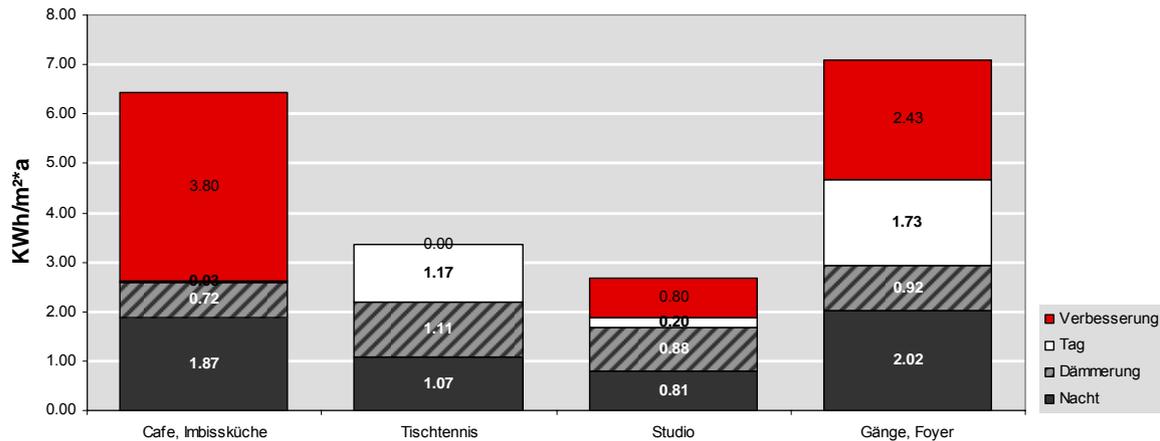


Abbildung 115: Optimierung der Tageslichtausbeute der Trakte mit Studio und Tischtennishalle

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die erste Phase der Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle zeigt eine erhebliche Verbesserung der Tageslichtausbeute durch die Anordnung der Oberlichter. Das Problem der innen liegenden Gänge bedingt die geringere Energieeinsparung. Da die Tischtennishalle in der Ausgangsvariante ohne Möglichkeit zur Belichtung über das Dach situiert wurde, zeigt sich hier keine Reduktion der Energie. In der Entwurfsphase ist zu überlegen, wie die Optimierung der Tischtennishalle und der Studios hinsichtlich einer Belichtung von oben erfolgen kann. Synergien in Hinblick auf Lüftung, Heizung und Kühlung sollten immer mit bedacht werden.

### 9.3.3 Optimierung der Halle

Das Problem der Blendung in der Halle ist vorrangig zu betrachten. Eine Halle mit zu häufiger Blendung führt zu einer Unnutzbarkeit oder durch die zu starke Verschattung eines Blendschutzes zur übermäßigen künstlichen Beleuchtung.

Eine häufig gebaute Variante sind Nord-Sheds die durch ihre Ausrichtung über große Zeiträume blendfreies Licht in die Halle einbringen. Hierbei ist zu beachten, dass ein größeres Volumen und mehr Oberfläche zu einer Verschlechterung der Heizbilanz führen kann. Zudem reduziert sich der solare Gewinn deutlich. Die schräge Fassade nach Süden kann als Kollektorfläche gut genutzt werden. Durch eine günstige Ausbildung der Shedgeometrie lassen sich unter Umständen günstige und stabile Druckverhältnisse zur natürlichen Ablüftung erzeugen. Die Spannrichtung der Halle quer zu den Sheds ermöglicht nur bedingt den Vorteil der integrierten Tragkonstruktion.

Als zweite Variante wird ein zweilagiges Rasterdach untersucht, das häufig Anwendung im modernen Museumsbau findet. Die Konstruktion bietet niedrige Trägerhöhen und durch eine lichtstreuende Unterdecke eine blendfreie gleichmäßige Ausleuchtung der Halle. Die entstehende Zwischenzone fungiert als thermischer Pufferbereich, der die Wärmeverluste über die Decke reduziert. Die Zwischenzone fällt als zu beheizendes Gebäudevolumen weg und kann als Raum für das notwendige Tragsystem und Installationen dienen. Zudem kann bei einer natürlichen Lüftung über diesen im Sommer erwärmten Zwischenraum mehr Auftrieb erzeugt werden.

Untersuchungsgegenstand ist die Dreifeldhalle mit Tribüne. Die verglichenen Parameter sind Raumheizung, die Raumkühlung und die Beleuchtung.

Die Herstellungsenergie der Verglasung im Vergleich zur jeweiligen opaken Konstruktion wird als Wert der Primärenergiebilanz hinzugefügt. Dabei zeigt sich, dass eine Zweifachverglasung in der Wand etwas das Vierfache an Herstellungsenergie der

opaken Wandfläche benötigt. Eine Verglasung im Dach benötigt hingegen nur etwa das Doppelte der Herstellungenergie der opaken Dachfläche.

Nachfolgend werden folgende Varianten untersucht:

- (1) Ausgangsvariante mit verbesserter Dichtigkeit
- (2) Sheddachvariante
- (3) Rasterdach mit einem Verglasungsanteil von 30%

#### Zu (1) Ausgangsvariante mit verbesserter Dichtigkeit

Wie bereits geschildert dient für alle nachfolgenden Untersuchungen die Ausgangsvariante mit verbesserter Dichtigkeit als Referenz. Sonst ist die Ausgangsvariante unverändert.

Die Ausgangsvariante hat damit einen Fensterflächenanteil von jeweils 43% an der Süd- und Nordfassade und 5% im Dach. Als Blendschutz ist eine fixe innen liegende Verschattung mit 50% für alle Verglasungen vorgesehen. Die Süd- und Nordverglasung hat je 135m<sup>2</sup> die Dachverglasung 63m<sup>2</sup>. In Summe beträgt die verglaste Fläche der Halle 333m<sup>2</sup>.

Auf Grund der bei Dreifeldhallen wechselnden Spielrichtung ist laut Vorschrift entweder eine ständige Zusatzbeleuchtung mit Kunstlicht vorzusehen oder Oberlichter im Dach anzuordnen, was hier umgesetzt wurde. Diese Maßnahme wird in der DIN 67526 – 3 zur Reduktion der Blendung vorgeschlagen.

#### Zu (2) Sheddächer

In dieser Variante werden die Fensterflächen aus den Fassaden entfernt. Die Dachkonstruktion besteht aus vier Sheds mit 3m Höhe. Die verglaste Fläche entspricht 43% der Grundfläche der Halle. Die effektive Verglasungsfläche beträgt 542m<sup>2</sup>. Die Verglasungsflächen sind senkrecht und parallel zur Halle. Die Verglasung entspricht einer Standard-Zweischeibenverglasung mit einem  $u_w$ -Wert von 1,3W/m<sup>2</sup>K und einem g-Wert von 0,64 und einem  $\tau$ -Wert von 0.81.

Das Ergebnis ist eine weitgehend blendfreie Belichtung. Die Gesamtenergiebilanz spricht jedoch gegen diese Variante. Die hohe Infiltration bedingt durch die großen Glasflächen und die geringen solaren Gewinne reduzieren den Kühlbedarfs auf ein unbedeutendes Maß, erhöhen aber den Heizbedarf enorm. Die Tageslichtausbeute verschlechtert sich im Vergleich zur Ausgangsvariante erheblich. Eine weitere Erhöhung der Glasflächen würde zu einer weiteren Verschlechterung der Ergebnisse führen. Die Option einer Ausrichtung der Shedkonstruktion nach Westen und Süden erhöht die solaren Gewinne, führt aber zu Blendung. Die Orientierung der Glasfläche nach Osten ergibt in den Vormittagsstunden Blendung und keine erhebliche Verbesserung der solaren Gewinne.

#### Zu (3) Rasterdach mit 30% Verglasung

In vielen modernen Museen, wo eine gleichmäßige blendfreie Belichtung gefordert ist, wird eine zweischalige Rasterdecke mit lichtstreuender Untersicht angewandt. Diese Konstruktion ermöglicht durch die große Stabilität große Spannweiten. Diese Eigenschaften sind gute Ausgangsbedingungen für die Anwendung in einer Sporthalle.

Die tragende Ebene wird hier mehrfach genutzt. Der geschlossene Zwischenraum dient im Winter als thermischer Puffer. Im Sommer kann hier ein Sonnenschutz angebracht werden, der durch Ablüften der heißen Luft einem außen liegenden Sonnenschutz ähnelt. Der Vorteil liegt darin, dass durch die äußere Klappe ein Schutz vor Wind und Verschmutzung gegeben ist.

Blendung tritt durch die lichtstreuende Untersicht nicht auf. Der Zwischenraum bietet die Möglichkeit der Integration von künstlicher Beleuchtung, dient als Raum für Installationen und Tragwerk.

Durch die durchlaufende Untersicht gibt es keine Staubablagerungen, die in die Halle fallen könnten. Zudem ist diese Konstruktion einfach ballwurfsicher auszuführen.

Allerdings müssen die Punkte Wartung des Sonnenschutzes und der Mechanik der Abluftklappen sowie eine etwaige Reinigung im Zwischenraum in der Planung bedacht werden.

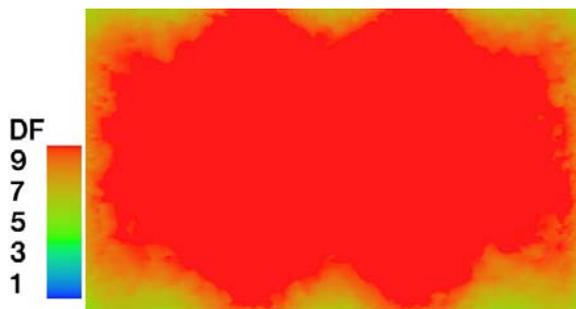
Die Erwärmung des Zwischenraums dient zur Unterstützung des thermischen Auftriebs bei einer natürlichen Lüftung im Sommer.

In dieser Variante wird das Dach zu 30% verglast, die Vertikalen erhalten keine Fenster. Die verglaste Fläche beträgt 378m<sup>2</sup> aufgeteilt auf 42 Oberlichter mit je 9m<sup>2</sup>. Die Verglasung entspricht einer Standard Zweischeibenverglasung mit einem  $u_w$ -Wert von 1,3W/m<sup>2</sup>K, einem g-Wert von 0,64 und einem  $\tau$ -Wert von 0.81.

Die Zwischendecke hat folgende Materialwerte: g-Wert von 0,76,  $u_w$  von 2,1 und  $\tau$ -Wert von 0,66.

Das Ergebnis zeigt nur eine leichte Verschlechterung der Effizienz bei der Tageslichtnutzung im Vergleich zur Ausgangsvariante (vgl. **Abbildung 118**). Dagegen wurde die Blendung dank der lichtstreuenden Decke komplett eliminiert, was sich auch durch die gleichmäßige Lichtverteilung am Fußboden äußert (vgl. **Abbildung 117**). Die Gesamtenergiebilanz fällt auf Grund der winterlichen und sommerlichen Pufferwirkung der Zweischaligkeit besser aus.

Die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung ist durch den homogenen Lichteinfall von oben sehr gut. Der Daylight-Faktor erhöht sich um 40% im Vergleich zur Ausgangsvariante. Die Ausleuchtung der Hallenrandbereiche verbessert sich deutlich.



**Abbildung 116:** Daylightfaktor am Boden der Dreifeldhalle mit zweischaligem Rasterdach, 30% verglast



**Abbildung 117:** Lichteinfall an einem sonnigen Tag 12:00 auf dem Boden der Dreifeldhalle mit zweischaligem Rasterdach, 30% verglast

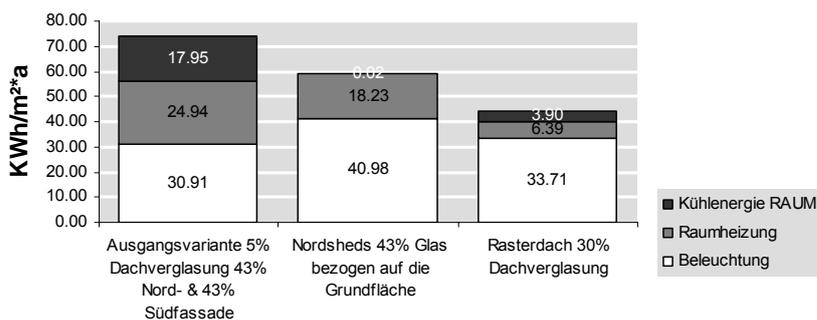


Abbildung 118: Varianten der Tageslichtoptimierung im primärenergetischen Vergleich

In einer nachgeschalteten Untersuchung soll eine Aussage zum optimalen Verglasungsanteil des Rasterdaches gewonnen werden. Im Vergleich zur bereits untersuchten Variante mit 50% Anteil, wird noch ein Verglasungsanteil von 17% und 50% im Dach betrachtet.

#### Rasterdach mit 17% Verglasung

Untersucht wird die Verringerung der verglasten Fläche der ursprünglichen Rasterdachvariante von 30% auf 17%. Die effektive Glasfläche beträgt 216m<sup>2</sup>, aufgeteilt auf 24 Oberlichter mit je 9m<sup>2</sup>.

Das Ergebnis zeigt eine starke Erhöhung des Kunstlichtbedarfs. Durch die geringen solare Gewinne und die verringerte Undichtigkeit ergibt sich eine Reduktion der Kühllast und Erhöhung der Heizlast im Vergleich zur Variante mit 30% Glasanteil.

#### Rasterdach mit 50% Verglasung

Es wird die Glasfläche aufbauend auf die ursprüngliche Rasterdachvariante auf 50% erweitert. Die effektive Glasfläche beträgt 630m<sup>2</sup>, aufgeteilt auf 70 Oberlichter mit je 9m<sup>2</sup>.

Betrachtet man die Beleuchtungsenergie ergibt sich eine Einsparung um rd. 20%. Die Heizlast und Kühllast steigt im Verhältnis stark an. Rechnet man die Herstellungenergie hinzu ergibt sich eine knappe Verschlechterung der Gesamtenergiebilanz im Vergleich zur Variante mit 30% Verglasung.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Variantenvergleich zeigt das energetische Potenzial des Rasterdachs mit 30% verglasten Fläche. Der effektive Sonnenschutz im ablüftbaren Dachzwischenraum reduziert die Kühllast. Das Luftpolster im Winterfall erzielt eine deutliche Reduktion der Wärmeverluste durch das Dach. Die Sheddach-Variante scheidet in dieser Betrachtung schlecht ab. Als Potenzial ist hier jedoch die Möglichkeit eines effizienten Einsatzes von Kollektorflächen auf dem nicht verschatteten Südteil der Dächer zu betrachten. Die Referenzvariante scheidet durch die erhebliche Blendung aus. Zudem ist hier die zusätzliche Energiegewinnung über die Südfassade durch die vorhandene Verglasung stark eingeschränkt.

Der Optimierungsverlauf zeigt ein Optimum für die Gesamtprimärenergie inklusive der zusätzlichen Herstellungenergie bei der Rasterdachverglasung mit 30% verglasten Fläche.

Die Verbesserung der Belichtungssituation durch einen Fensteranteil von 50% zahlt sich aufgrund eines erhöhten Bedarfs an Herstellungenergie, Heiz- und Kühlenergie in absoluten Zahlen nicht aus. Je nach eingesetzten Versorgungssystemen (z.B. Heizung und Kühlung über Grundwasser) könnte es jedoch erwägenswert sein, ein Plus an Heiz- und Kühlenergie zu akzeptieren und durch diese Variante vorrangig den Strombedarf für Beleuchtung zu reduzieren.

Durch die Verbesserung des Daylightfaktors ergibt sich ein größeres Potenzial bei der Einsparung durch ein bedarfsoptimiertes Beleuchtungssystem mit einem dimmbaren Beleuchtungssystem.

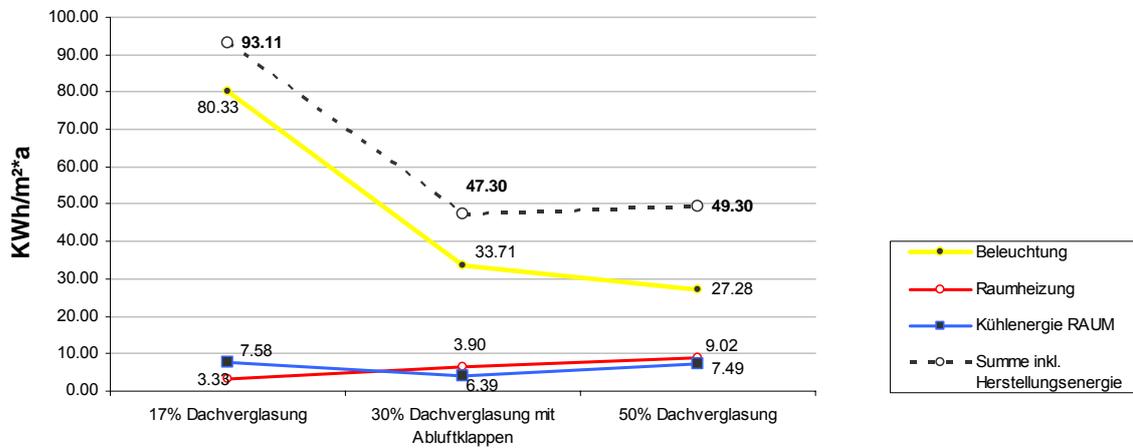


Abbildung 119: Optimierung der Rasterdachverglasung

## 9.4 LÜFTUNG

### 9.4.1 Bewertung von Lüftungsvarianten

Der hygienische Luftwechsel ist in Sporthallen während der Nutzungszeiten sicher zu stellen. Eine ungelüftete Sporthalle führt in kurzer Zeit zu einer Unnutzbarkeit. Die notwendige Luftmenge variiert je nach Anforderung bzw. Raumnutzung. Die Anforderungen an die Art der Vorkonditionierung der Luft, insbesondere die Zuluftvorerwärmung im Winter ist ein wesentliches Behaglichkeitskriterium. Dabei ist zu untersuchen, in wie weit sich unterschiedliche Nutzungen, wie z.B. die Sporthalle von den Waschräumen unterscheiden.

Es werden in der Regel zwei Konzepte zur Luftversorgung angewandt. Die mechanische Lüftung über eine raumlufttechnische Anlage und die natürliche Lüftung, die ohne Ventilatoren und ohne gesonderte Luftwege in Form von Kanälen auskommt. Hybride Systeme nutzen eine weitgehend auf natürliche Weise erzeugte Strömung und können zeitweise im selben Luftweg mit Unterstützung durch Ventilatoren arbeiten.

Ein wichtiger Punkt in der Betrachtung von Lüftungsvarianten ist der Energiebedarf für die Luftförderung. Der benötigte Strom hat einen hohen Primärenergieaufwand und bringt eine direkte ökonomische Abhängigkeit von Energieträgern. Dem Mehraufwand an Energie zur Luftförderung steht bei einer mechanischen Anlage die Möglichkeit einer hohen Wärmerückgewinnung (WRG) und einer exakten Steuerung und Konditionierung der Luft gegenüber.

Die Untersuchung der Lüftungsvarianten bezieht sich in der ersten Phase auf den Gesamtkomplex. Es werden hier nur energetische Aspekte betrachtet. Die Darstellung kWh/m<sup>2</sup> bezieht sich auf die Gesamtnutzfläche des Gebäudes. In Phase zwei und drei werden die Raumnutzungen getrennt betrachtet und unter Berücksichtigung von Behaglichkeit und Energieeffizienz optimiert.

Die abgebildeten Varianten zeigen das Potenzial der Anlagenoptimierung im Vergleich zu einer idealen natürlichen Lüftung (Natürliche Lüftung wird so gesteuert, dass exakt die hygienisch erforderliche Außenluftmenge zugeführt wird).

Untersucht wird die relevante Betriebsenergie der Anlage und die Auswirkung auf die Raumkonditionierung. Energetisch unbeeinflusste Faktoren wie die Beleuchtung werden nicht abgebildet. In die Bilanz der mechanischen Anlage wird die zusätzliche Herstellungsenergie für die technische Zentrale [30], die Schächte und das zusätzliche Bauvolumen eingerechnet. Die Herstellungsenergie der RLT-Anlage hat einen Anteil an der Herstellungsenergie des Gebäudes von ca. 2%. Das bedeutet bei einer Lebensdauer der Anlage von 15 Jahren 2,88KWh/m<sup>2</sup>\*a.

Die betrachteten Parameter sind auf der Anlagenseite die Luftkonditionierung, die Luftförderung und die Herstellungsenergie der mechanischen Anlage. Die direkt beeinflusste Raumkonditionierung wird durch die Parameter Raumkühlbedarf und Raumheizbedarf abgebildet. Der Kühlbedarf entsteht durch Vorgabe des Sollwerts auf 24°C. Der Raumheizbedarf wird aufgeteilt in den Anteil bedingt durch Infiltration und den Anteil bedingt durch Transmission.

Der Volumenstrom der Ausgangsvariante bleibt, wenn nicht anders angeführt konstant. Die Versorgung der Dreifeldsporthalle, des Tischtennisraums und des Studios übernimmt bei der mechanischen Variante eine eigene Zentrale (Halle). Der Volumenstrom zur Auslegung der Zentrale „Halle“ beträgt 6000m<sup>3</sup>/h, der der Zentrale „Trakte“ 4100m<sup>3</sup>/h.

Der Energiebedarf zur Luftförderung wird durch Zuordnen der Anlage zu einer Effizienzklasse ermittelt. Nach [29] können mechanischen Lüftungsanlagen drei Grenzwerte zugeordnet werden, die die spezifische (Volumenstrom je l/s) Leistungsaufnahme zur Luftförderung kennzeichnen:

- Häufig anzutreffender Planungsstand 3,5W/l\*s (3,8W/l\*s bei kleineren Anlagen)
- Energieeffiziente Planung 2,4W/l\*s (2,6W/l\*s bei kleineren Anlagen)
- Sehr energieeffiziente Planung (und sehr geringer Anlagenwiderstand) 1,8W/l\*s (2,0W/l\*s bei kleineren Anlagen)

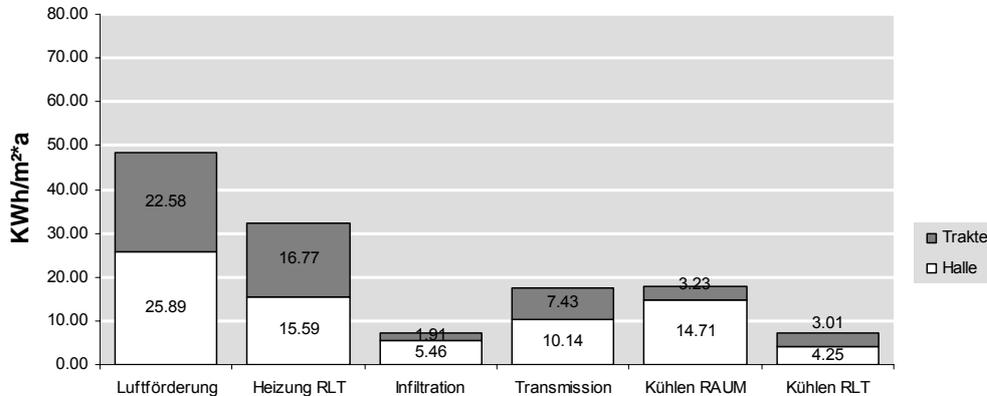
Die elektrische Energie zur Luftförderung wird durch den Ventilator zu einem Teil in Wärme umgesetzt. Dieser im Heizfall positive und im Kühlfall negative Eintrag in die Energiebilanz ist in die entsprechenden Werte eingerechnet. Die Einblastemperatur der Zuluft ist in der Anlage Halle mit konstanten 18°C und in der Anlage Trakte mit konstanten 20°C geregelt..

Die natürliche Lüftung wird mit demselben Volumenstrom der mechanischen Anlage als ideal gesteuert abgebildet, um ein vergleichbares Ergebnis zu erhalten. In der realen Umsetzung einer natürlichen Lüftung ist allerdings eine Schwankung des Volumenstroms zu erwarten, womit sich auch der Energiebedarf zur Konditionierung verändert.

### Referenzvariante

Ausgangspunkt der Untersuchung ist die Ausgangsvariante mit verbesserter Dichtigkeit. Die RLT-Anlage wird mit einer Luftfördereffizienz von 3,8 W/l\*s und einer Wärmerückgewinnungszahl (WRG) von 50% abgebildet. Diese Variante dient als Referenz für die folgende Analyse. Die Versorgung der Räume übernehmen zwei Zentralen. Die erste Zentrale bedient die Dreifeldhalle, das Studio und die Tischtennishalle, die zweite übrigen Räume.

**Abbildung 120** zeigt die Aufschlüsselung der Betriebsenergiekomponenten in die zwei RLT-Zentralen.



**Abbildung 120:** Aufteilung der Betriebsenergiekomponenten der Ausgangsvariante

Die Aufteilung der Komponenten der Energiebilanz zeigt im Bereich der Lüftung den unterschiedlichen Volumenstrom der Zentralen. Bei der RLT-Heizung ergibt sich für die Trakte trotz der geringeren Luftmenge ein höherer Energiebedarf auf Grund der um 2K höheren Zulufttemperatur. Die Infiltration wird errechnet über die Undichtigkeit der Fugen. Die Sporthalle hat hier den größten Anteil am Gebäude. Der nicht über die Zuluft gedeckte Heizbedarf ist in den hochtemperierten Räumen wie Umkleiden und Waschräumen im Verhältnis zu den Sporthallen dominierend. Bei der Kühlung ist die großflächige Verglasung der Halle und die daraus resultierenden solaren Gewinne der Hauptfaktor.

Optimierungspotenzial liegt in den zwei Hauptkomponenten: Luftförderung und RLT-Heizung (WRG), sowie in der Reduzierung der Kühlenergie.

### Hocheffiziente Luftförderung

Der nächste Verbesserungsschritt ist eine Optimierung der RLT-Anlage. Hierbei sind zwei Komponenten interessant. Einerseits die Luftförderung und andererseits die Wärmerückgewinnung in der Anlage. Die benötigte Energie zur Luftförderung wird bedingt durch den Wirkungsgrad der Ventilatoren, Motoren und Kraftübertragung sowie durch den Strömungswiderstand im System. Je größer die Leitungsquerschnitte der Anlage, desto geringer ist der Widerstand und die Luftgeschwindigkeit. Eine wirtschaftlich vertretbare Dimensionierung wird aus der Literatur entnommen [29]. Eine ideale anzustrebende, wirtschaftlich vertretbare spezifische Effizienz der Luftförderung kann demnach mit  $2,0 \text{ W/l*s}$  angesetzt werden. Da die Wärmerückgewinnung in der Zentrale einen Widerstand im Luftstrom darstellt, wird für die Wärmerückgewinnung ein Temperaturänderungsgrad von 70% angenommen, um noch wirtschaftlich den guten Effizienzwert zu erreichen. Das Ergebnis der Simulation zeigt eine zu erwartende Reduzierung der Primärenergie zur Luftförderung und der RLT-Heizung. Der Anteil der Luftförderung an der betrachteten Betriebsenergie ist dennoch dominant (vgl. **Abbildung 122**).

### Hocheffiziente Wärmerückgewinnung

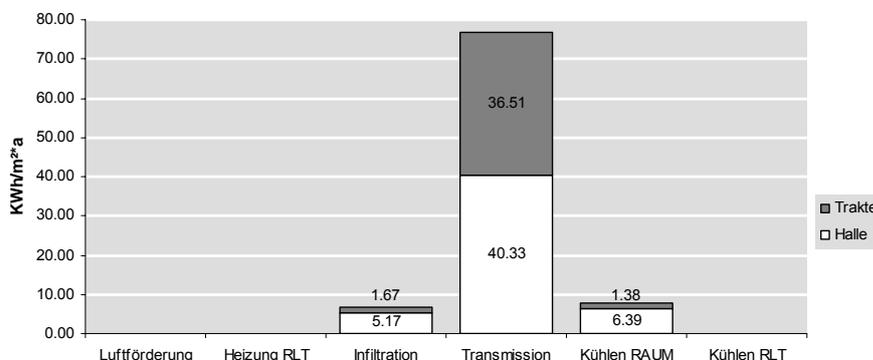
Als alternative zur hocheffizienten Luftförderung wird eine hocheffiziente WRG mit 80% untersucht. Wie bereits erwähnt, bedingt der Zusammenhang von Druckwiderstand durch WRG und der damit verursachten erhöhten Leistungsaufnahme der Ventilatoren eine Erhöhung der Luftfördereffizienz auf  $2,6 \text{ W/l*s}$ .

Dieser Anlagentyp liefert ein sehr ähnliches Ergebnis wie die Anlage mit nur 70% WRG und besserer Luftfördereffizienz. Da die Gewichtung der elektrischen Energie stärker ist, wäre eine Empfehlung für die bessere Luftfördereffizienz zu geben. Dies bezieht sich auf den gesamten Komplex. Eine individuelle Betrachtung ist hier ratsam, da sich bei erhöhtem RLT-Heizbedarf eine Verschiebung zu Gunsten der besseren WRG ergeben kann.

### Natürliche Lüftung

Diese Variante bildet eine natürliche Lüftung ab. Der Zuluftvolumenstrom wird konstant angenommen und wird ohne Vorkonditionierung direkt in den Raum eingeleitet.

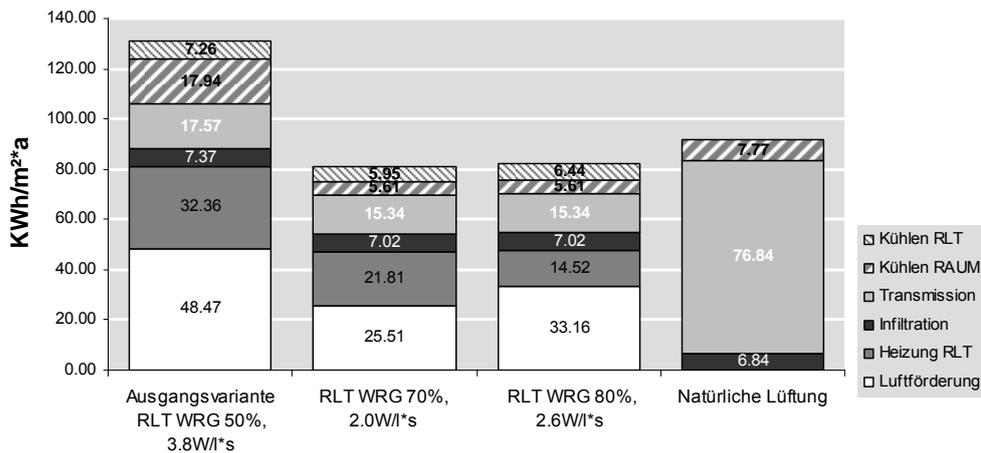
Die Heiz- und Kühlenergie muss bei dieser Art der natürlichen Lüftung komplett vom Raum erbracht werden. Die gesamte Bilanz ist durch die Einsparung an Luftförderenergie mit einer guten mechanischen Anlage vergleichbar, allerdings wird die Energie aufgrund fehlender Wärmerückgewinnung ausschließlich für Heizen und Kühlen benötigt. **Abbildung 121** zeigt die Aufschlüsselung der Betriebsenergiekomponenten in die zwei zu den RLT-Zentralen äquivalenten Raumgruppen.



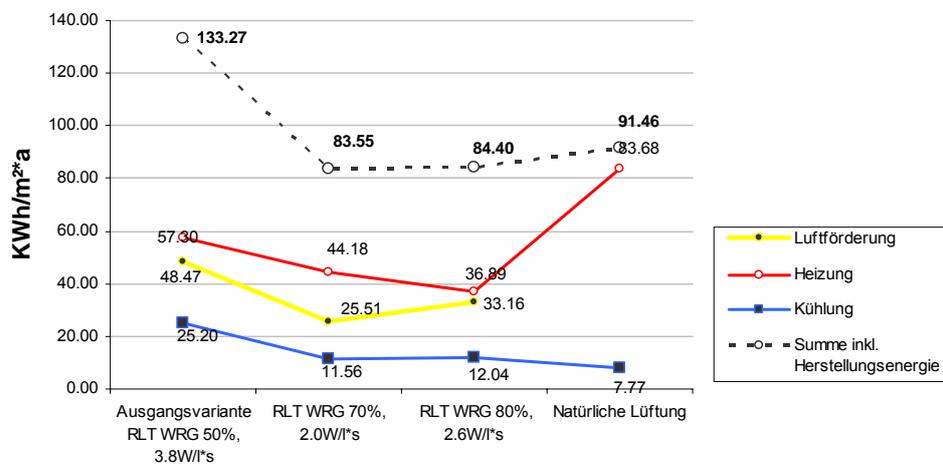
**Abbildung 121:** Aufteilung der Betriebsenergiekomponenten der Variante natürliche Lüftung

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Auswertung der Varianten ergibt, dass eine gute mechanische Anlage mit 70% WRG und einer Luftfördereffizienz von 2,6W/l\*s mit einer idealen natürlichen Lüftung vergleichbar ist. Die Optimierungen der Lüftungsanlage mit Schwerpunkt WRG oder Luftfördereffizienz sind nahezu gleichwertig. Die Verbesserung gegenüber der natürlichen Lüftung sind geringfügig. Zusätzlich gibt es bei natürlicher Lüftung keinen Wärmeeintrag der Ventilatoren und dadurch weniger Kühllast im Sommer. **Abbildung 122** und **Abbildung 123** zeigen den Verlauf der Lüftungsanalyse.



**Abbildung 122:** Primärenergetischer Vergleich der Lüftungsvarianten



**Abbildung 123:** Primärenergetischer Vergleich der Lüftungsvarianten inklusive Herstellungsenergie der mechanischen Anlage

#### 9.4.2 Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle

Die Optimierung der Trakte mit Studio und Tischtennishalle ist in dieser Studie nur bedingt möglich. Eine Vielzahl an Varianten zur Ausrichtung und Anordnung im Bezug auf die Halle und das Grundstück sind möglich. Eine Bewertung von Lüftungsstrategien mit unterschiedlichen Ausgangsgeometrien erscheint nicht sinnvoll. Eine individuelle Anpassung des Konzepts auf den tatsächlichen Entwurf ist hier ratsam.

Als Grundlage der Studie wird die tageslichtoptimierte Variante der Trakte mit Studio und Tischtennishalle gewählt.

Die einzelnen Raumtypen können klimatisch zu Gruppen zusammengefasst werden. Dies ermöglicht eine gezielte Klimatisierung und damit eine Energieeinsparung. Die

Versorgung der Räume übernehmen zwei Zentralen. Die erste Zentrale bedient das Studio und die Tischtennishalle, die zweite die übrigen Räume.

Die Auslegung der Lüftung der zweiten Zentrale wird anhand der Umkleiden, des Cafes mit Küche und der Sanitärschlüssel getroffen. Andere Räume wie Gänge und selten genutzte Räume sind untergeordnet und nicht belüftet.

Die Raumtemperatur der belüfteten Räume ist im Vergleich zu den Hallen um zwei bis sechs Grad höher. Die Einblastemperatur beträgt 20°C. In Summe ist der Energieaufwand zur Lufterwärmung größer als der der Hallen. Die Nutzung der Abluftwärme über eine hocheffiziente WRG mit 80% scheint daher sinnvoll.

Ein weiterer Punkt zu Gunsten einer mechanischen Lüftung ist der hohe Luftwechsel in den Umkleiden, den Waschräumen und der Küche sowie der intermittierende Betrieb, d.h. der Wechsel zwischen ungenutztem Zeitraum und hochfrequentem Betrieb zum Umkleiden und Waschen. Es muss nicht immer mit der gleichen Intensität belüftet werden. Die Behaglichkeit hängt vor allem in den Waschräumen von der Zulufttemperatur und Luftgeschwindigkeit ab. Durch den großen Volumenstrom kann hier eine mechanische Anlage mit exakter Steuerung von Vorteil sein. Der schnelle Abtransport von Feuchtigkeit muss ständig und unabhängig von den Außenbedingungen gewährleistet sein.

Der hohe Anteil von elektrischer Energie der zur Luftförderung benötigt wird ist jedoch kritisch zu bewerten.

#### 9.4.3 Optimierung der Halle

Die Dreifeldsporthalle ist durch ihre Nutzung und ihr hohes Raumvolumen durch einen relativ geringen Luftwechsel gekennzeichnet. Die Raumtemperatur ist mit 18°C im Winter relativ gering und eine behagliche Zulufttemperatur mit einer gängigen Toleranz bis 12°C ebenfalls. Als Lüftungsprinzip wird eine Quelllüftung vorgeschlagen, bei der die kältere Zulufttemperatur langsam in Bodennähe in den Raum strömt und an den Personen durch Erwärmung aufsteigt. Für die natürliche Lüftung ist eine Strategie zu entwickeln, wie diese ganzjährig zuverlässig funktioniert.

Die reduzierte Kühllast im Raum bei einer natürlichen Lüftung ist positiv zu bewerten. Negative Aspekte der natürlichen Lüftung wie die Problematik der kalten Zuluft im Winter und der zu warmen im Sommer, sowie der nicht konstante Volumenstrom ist auf Grund der Nutzung und des großen Raumvolumens bei relativ geringem Luftwechsel nicht zu kritisch. Gesondert zu betrachten ist die Luftfeuchtigkeit, die durch eine RLT-Anlage einfach zu regeln ist, bei einer natürlichen Lüftung problematisch sein kann. Besondere Aufmerksamkeit verdienen Möglichkeiten der passiven Nutzung von Solarenergie im Zusammenhang mit dem zu konditionierendem Luftvolumenstrom, da der Bedarf an Heizenergie im Vergleich zur Lösung mit der RLT-Anlage sehr hoch ist. Im Vergleich zu einer mechanischen Anlage gibt es hier jedoch noch Optimierungspotenzial.

## 10 ENDEVARIANTE

Im folgenden werden für das virtuelle Modell alle Optimierungen zu einem geschlossenen Konzept zusammengefügt. Das Konzept lässt Freiräume zur architektonischen Gestaltung.

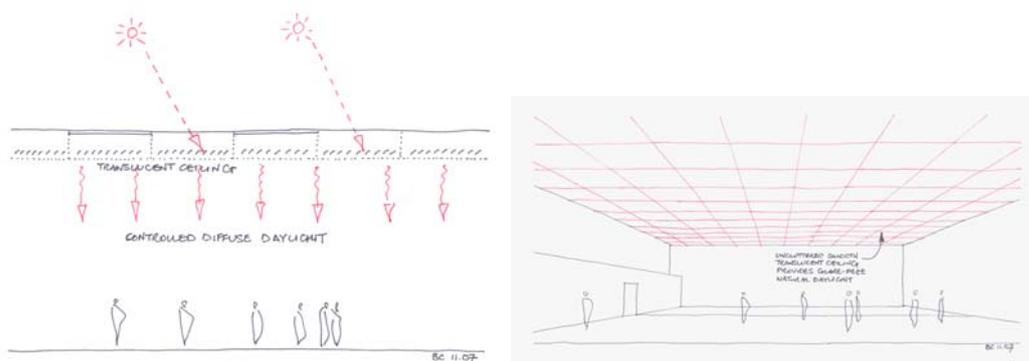
Der Bedarf an Wärme, Kälte und Strom dieser sog. Endvariante wird nochmals zusammenfassend dargestellt, die dazu notwendigen technischen Systeme vorgestellt und die verbleibende Energiebedarfsabdeckung betrachtet. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt, wie bereits erwähnt, durch ihre Dominanz im Energieverbrauch, auf der Dreifeldhalle.

### 10.1 TAGESLICHTOPTIMIERUNG

Die Nutzung von Tageslicht in einer Sporthalle ist vorgeschrieben und betrachtet man den Energiebedarf für künstliche Beleuchtung von größter Bedeutung. Dabei wird in den bisher gebauten Hallen und in der Projektierung auf die Qualität des Tageslichts nur sehr wenig Wert gelegt. Die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung und die physische Blendung sind ein oft ungelöstes Problem.

Eine gute Lösung der Tageslichtsituation in der Halle bedingt eine maximale Ausbeute von Tageslicht bei einer optimalen blendfreien Belichtung. Dies wird über eine zweischalige Rasterdachkonstruktion erreicht, die im Museumsbau Anwendung findet. Die äußere Schicht besteht aus einem Raster mit opaken und transparenten Feldern. Das Licht wird über die äußeren Glasflächen mit Zweifachverglasung und eine abgehängte lichtstreuende Decke diffus in den Raum geleitet. Das Optimum an Verglasung liegt bei ca. 30% Verglasung. Die lichtstreuende Ebene sollte einen möglichst hohen Energiedurchlassgrad besitzen. Gute wärmedämmende Eigenschaften und eine gute Strömungsdichtigkeit haben sich in der Simulation als vorteilhaft herausgestellt.

**Abbildung 124** zeigt Funktionsskizzen der Lichtdecke mit ihrer lichtstreuenden Ebene und der homogenen Untersicht.



**Abbildung 124:** Funktionsskizzen der Lichtdecke

### Synergien

Die zweischalige Bauweise des Dachs bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten weitere Komponenten zu integrieren. Ein wichtiger Punkt bei Dachverglasungen ist der Sonnenschutz. Hier bietet sich der Zwischenraum als ideale Lage an. Es kann die eindringende Licht- und Strahlungsintensität geregelt werden, wobei die am Sonnenschutz in langwellige Wärmestrahlung umgewandelte Energie entweder im Winter als thermischer Puffer genutzt wird, oder im Sommer über Klappen abgelüftet wird. In jedem Fall kann die umgewandelte Wärme nicht unmittelbar in die Halle eindringen, da der Sonnenschutz außerhalb des Innenraumes liegt. Da er dennoch innerhalb der Gebäudeaußenhaut liegt, ist ein geschützter und über lange Zeit wartungsfreier Betrieb möglich.

Die sporttechnische Anforderung der Ballwurfsicherheit und die hygienische Anforderung der minimalen Staubablagerung an eine Hallendecke wird hier einfach ermöglicht.

Die gleichmäßige Helligkeit der Decke und die Integration von Beleuchtung bietet eine ideale optische Situation für Sportarten mit einer hohen architektonischen Qualität.

Die opaken Felder im Dach können zudem zur solaren Energiegewinnung durch Solargeneratoren oder Solarkollektoren genutzt werden. Diese werden dabei idealerweise als Teil der Gebäudehaut ausgebildet, so dass die oft vorzufindende zusätzliche Trägerkonstruktion entfällt. Dies spart Herstellenergie und kann zu einer klareren Gebäudeform führen. Eventuell sind geringe Einbußen an solarer Einstrahlung hinzunehmen, da die Ausrichtung vielleicht nicht optimal ist.

Die Unterstützung des Auftriebs im Sommer durch die Abluftführung in den wärmeren Zwischenraum ist positiv zu bewerten. Zudem muss unbedingt darauf geachtet werden, dass eine ideale Lage und Ausbildung der äußeren Öffnungen die Lüftungsunterstützung durch Wind optimieren bzw. auf jedem Fall eine Behinderung der Lüftung durch Windeinfluss vermieden wird.

## 10.2 LÜFTUNGSOPTIMIERUNG

Die Wahl der Lüftungsstrategie ergibt sich aus der Analyse der energetischen Situation der zu versorgenden Räume.

Wie gezeigt erzielt man in der Halle mit einer natürlichen Lüftung ohne Ventilatoren bereits eine gute Primärenergiebilanz, ohne dass eine weitere Optimierung in der natürlichen Vorwärmung oder einer Wärmerückgewinnung bisher erfolgte. Andererseits erfordert das System einer natürlichen Lüftung eine gezielte und sorgfältige Planung, um ganzjährig die Lüftung zuverlässig zu gewährleisten.

Das folgende Konzept verfolgt den Ansatz, die natürliche Lüftung zuverlässig umzusetzen, regenerative Energien einzubinden, den Komfort sicherzustellen und zusätzliche Synergien zu schaffen.

Die Situation in den übrigen Räumen ist durch den hohen Komfortanspruch und der exakten Regelung bei einem sehr hohen Luftwechsel stark unterschiedlich zu der Dreifeldhalle. Daher kann hier eine mechanische Anlage einfacher die Anforderungen erfüllen.

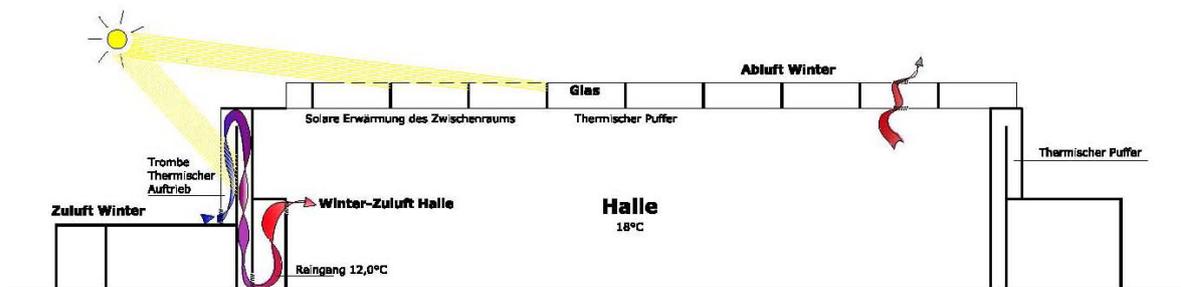
### 10.2.1 Konzept Halle

Eine direkte Fensterlüftung würde in der Sporthalle während der Hauptnutzungszeit im Winter zu intolerablen Zugerscheinungen und zu kalten Zulufttemperaturen führen. Als Reaktion auf diese Problematik und als Möglichkeit der passiven Nutzung von Solarenergie zur Senkung des Heizbedarfs wird in der Südwand eine Solarwand als Zuluftkollektor vorgesehen.

Die direkte Nutzung von Sonnenenergie zur Vorerwärmung der Zuluft bildet den Kern der abgebildeten Variante. Das System der Trombe-Wand besteht aus einer Zweifachverglasung vor einer Speicherwand mit einer hochabsorbierenden Beschichtung. Die Luft strömt im Winter in diesen Zwischenraum, erwärmt sich durch

solare Strahlung und der in der Wand gespeicherten Wärme, steigt auf und strömt in den Raum. Durch die zweischalige Hallendachkonstruktion wird die verbrauchte Luft abgeführt. Vor der Überleitung in die Sporthalle, wird die Luft im Reingang durch ein Niedertemperaturheizsystem auf 12°C erwärmt und somit auf ein behagliches Zulufttemperaturniveau für eine Quelllüftung gebracht.

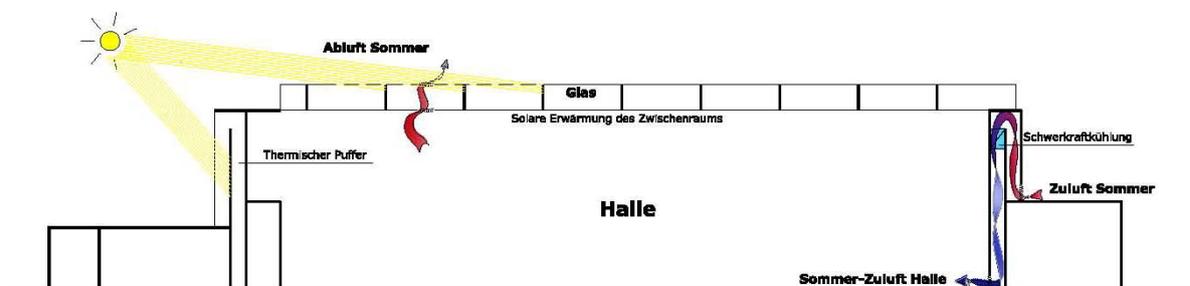
Das Ziel ist eine Reduktion des Heizwärmbedarfs durch die solare Zuluftvorerwärmung und das aktivieren zusätzlicher thermischer Masse. **Abbildung 125** zeigt das Lüftungsschema im Winterfall.



**Abbildung 125:** Lüftungsschema der Dreifeldhalle im Winter

Im Sommer strömt die Außenluft über Norden in eine mit gedämmten Blechpaneelen verkleidete Trombe. Die Trombe zeichnet sich wiederum durch Verwendung von Speichermasse auf der Innenseite aus. Hier vermag eine Nachtkühlung sowohl die Speichermasse in der Trombe als auch massive Flächen innerhalb der Halle nachts zu kühlen. Natürlich wird auch das Luftvolumen in der Halle nachts abgekühlt. Auf der Innenseite der Trombe, nach dem höchsten Punkt, setzt die Kühlwirkung bereits ein, durch die höhere Dichte fällt die Luft nach unten und strömt in die Halle ein.

Die Simulationen haben ergeben, dass der Kühlbedarf im Sommer für den Sollwert 24°C relativ gering ist. Deshalb wurde auf Kühlung verzichtet und die sich einstellenden Raumtemperaturen beobachtet. Da sich diese gleitend an die Außentemperaturen anpassen und nur an 8 Stunden eine Temperatur über 28°C erreichen, ist nicht zwingend eine zusätzliche aktive Kühlung notwendig. Dennoch könnte im Bereich der oberen Trombe-Wand eine aktive Schwerkraftkühlung zusätzlich eingesetzt werden. Als regenerative Energiequelle könnte dann Grundwasser eingesetzt werden (vgl. Kapitel 10.4.2). Bei einer zusätzlichen sensiblen Kühlung, d.h. Kühlung ohne gleichzeitige Entfeuchtung, ist zu bedenken, dass bei geringeren Raumtemperaturen und gleichem absolutem Feuchtegehalt die relative Feuchte in der Halle geringfügig ansteigen kann. **Abbildung 126** zeigt das Lüftungsschema im Sommerfall.

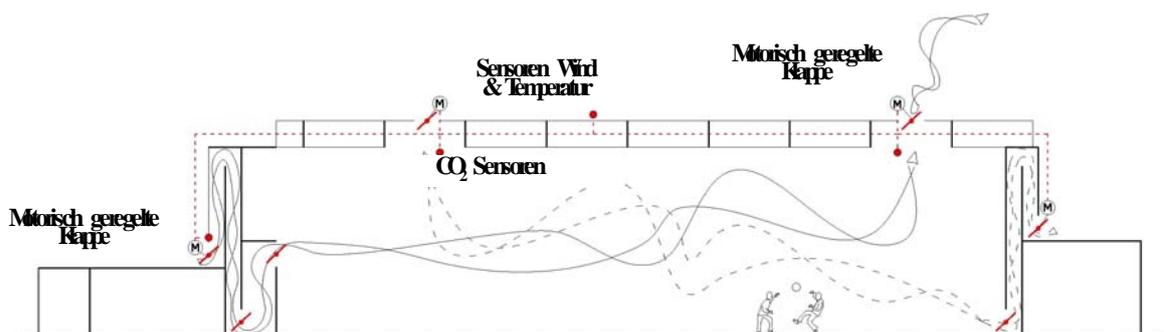


**Abbildung 126:** Lüftungsschema der Dreifeldhalle im Sommer

In der Untersuchung wird die Sporthalle mit Reingang und Tribüne abgebildet. Untersucht werden die beeinflussten Parameter Raumheizung Raumkühlung und Beleuchtung, sowie die zusätzliche Herstellungsenergie der Trombe. Durch Luftführung über die Trombe-Wand können negative Aspekte wie Einbruchgefahr, Unwetteranfälligkeit und zusätzliche Steuerungsmechanik vermieden werden.

Durch die Abbildung der Halle in einem CFD-Modell wird die Tiefe der erreichbaren Quelllüftung untersucht. Weiters wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration, die Luftgeschwindigkeiten und die Temperaturverteilung analysiert.

Im vereinfachten Simulationsmodell erfolgt die Steuerung der Zu- und Abluftklappen synchron. Geregelt wird die erforderliche Luftmenge über den Unterschied der Innen- und Außentemperatur, die maßgebend für das Auftriebsverhalten der durchströmenden Luft sind, sowie über die Belegungsdichte bzw. CO<sub>2</sub>-Sensoren. In der Kühlperiode werden die Klappen der Nord-Trombe-Wand nachts vollständig geöffnet um eine Nachtlüftung zu erreichen und um die Speichermasse für den darauf folgenden Tag zu regenerieren. **Abbildung 127** zeigt schematisch die zwei Situation Winter und Sommer und das vereinfachte System der kontrollierten natürlichen Belüftung über in Abhängigkeit von Sensoren motorisch gesteuerte Klappen.



**Abbildung 127:** Funktion der Trombe im Winter und Sommer: Thermik und Windeinfluss am Tag

Das System der natürlichen Lüftung ohne Ventilatoren gelingt nur durch eine präzise Reaktion auf die vorherrschenden Bedingungen. Die Hauptantriebskräfte sind der Wind und der thermische Auftrieb. Um diese gezielt nutzen zu können, ist es unbedingt notwendig die Zu- und Abluftöffnungen zu optimieren. Situationen, bei der Wind gegen die Thermik arbeitet, müssen vermieden werden, da das gesamte System nur mit sehr geringen Kräften arbeitet.

**Abbildung 128** und **Abbildung 129** zeigen das Funktionsprinzip im Winter und im Sommer. Der thermische Auftrieb entsteht über Temperaturdifferenzen vom Innenraum der Halle zur Umgebung.

Im Winter muss gewährleistet sein, dass die Luft in der Trombe erwärmt wird und – falls Wind vorhanden ist – der Wind im Dachbereich bei der Abluftklappe immer einen Unterdruck gegenüber der Zuluftöffnung in der Wand erzeugt.

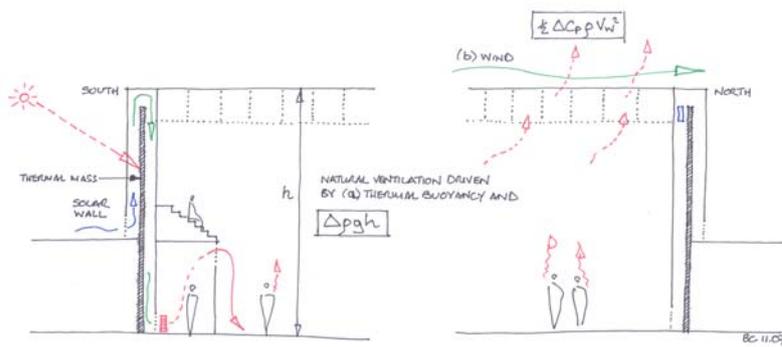


Abbildung 128: Funktion der Trombe im Winter: Thermik und Windeinfluss am Tag

Auch im Sommer wirkt Auftrieb infolge erhöhter Temperaturen im Dachraum. Unterstützend wirkt hier die Nord-Trombe-Wand, in der die Luft im oberen Bereich gekühlt wird und durch ihre größere Dichte nach unten fällt, und somit frische Luft von außen nachströmt.

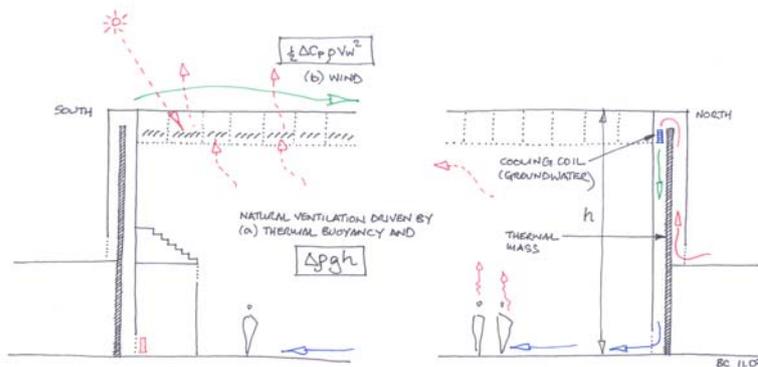


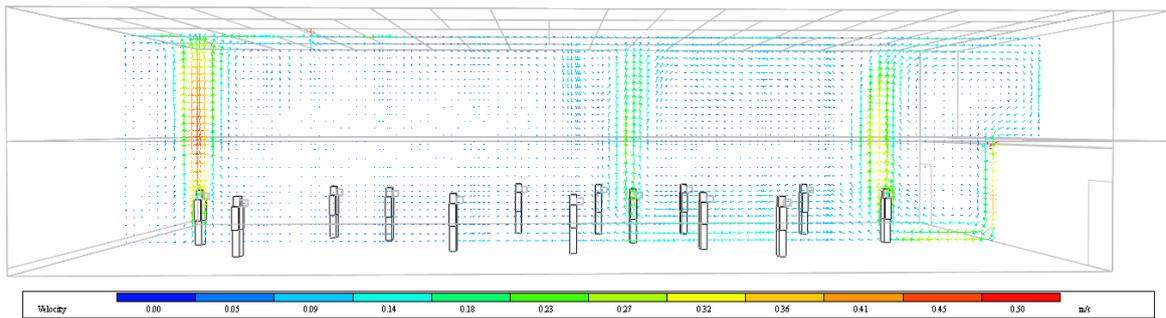
Abbildung 129: Funktion der Trombe im Winter: Thermik und Windeinfluss nach Sonnenuntergang

### 10.2.2 CFD-Analyse der Halle

Die Simulation der Halle durch eine numerische Strömungssimulation (CFD) ermöglicht eine genaue Ermittlung der vorherrschenden Strömungsverhältnisse in der Halle zu einem gewissen Zeitpunkt. Aufgrund der hohen Rechenintensität werden zwei repräsentative Zeitpunkte für den Winterfall und den Sommerfall abgebildet.

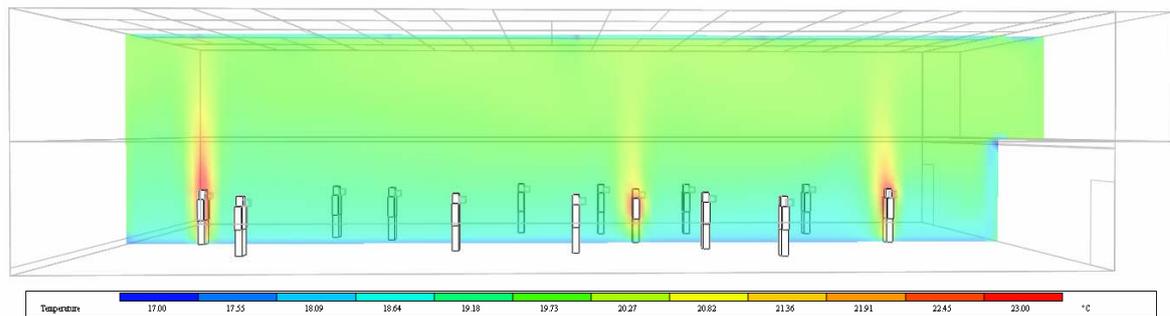
Im Winter wird bei der Zuluftführung über den Reingang die Luft mit mindestens 12°C unter der Tribüne, 3,5m über dem Hallenboden in den Raum geleitet. Die kalte Luft fällt an der Wand nach unten und erwärmt sich auf ein behagliches Maß. Da die Frischluft noch kühler als die durchschnittliche Raumlufttemperatur ist, streicht sie am Boden entlang in den Raum und steigt erst bei den Personen auf. Dadurch wird eine Frischluftversorgung der Halle ermöglicht.

Die Luftbewegung ist mit 0,1m/s in der Halle und 0,3m/s im Zuluftbereich sehr gering und führt zu keinen Zugserscheinungen.



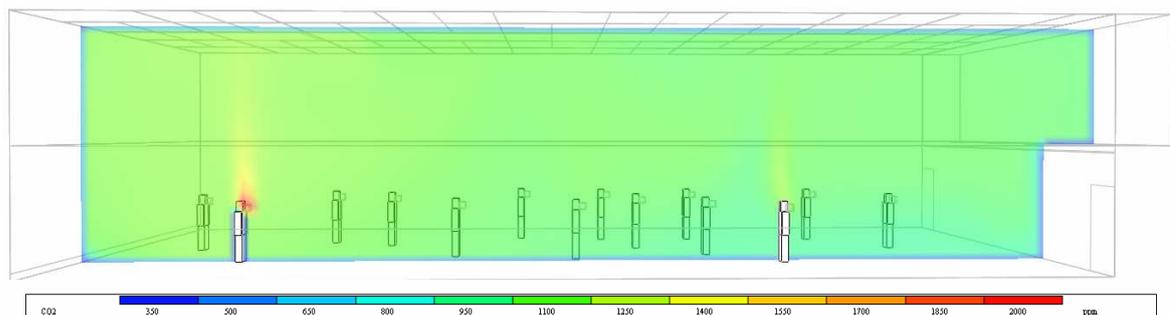
**Abbildung 130:** CFD Simulation (Luftgeschwindigkeit) der Halle im Winter: Prinzip der Quelllüftung über die Süd-Trombe-Wand

In der Simulation dargestellt ist die Wärmeabgabe von 14 Schülern mit einer sensiblen Wärmeabgabe von 138W pro Person. Die Temperatur ist im Winter auf 7m Hallenhöhe nur gering geschichtet. Die Zuluft erwärmt sich in der Halle bereits kurz nach dem Eintritt in den Raum. Die Reichweite der Strömung erreicht je nach Raumschnitt zwei Drittel der Halle, falls sie sich ungehindert ausbreiten kann auch die gesamte Halle. Zum Teil bilden sich Sekundärwalzen aus, die jedoch ausreichend am Frischluftaustausch beteiligt sind. Da die CFD-Analyse nur einen Augenblickszustand ohne durch Sportler induzierte Luftbewegung betrachtet, wird bei Berücksichtigung der Aktivitäten eine noch bessere Durchmischung der Luft erwartet.



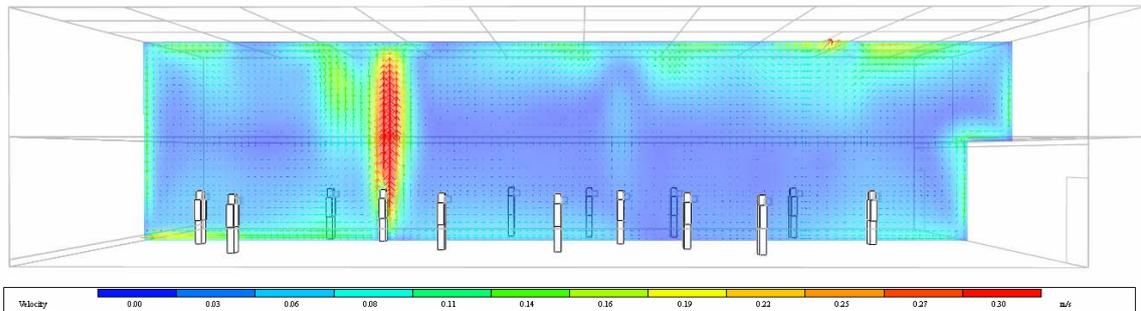
**Abbildung 131:** CFD Simulation der Halle im Winter: Temperaturverteilung

Die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Halle liegt im Bereich von 1000ppm. Ausgehend von einer Startkonzentration von rd. 350ppm CO<sub>2</sub> in der „frischen“ Zuluft, tragen die Sportler damit deutlich zu einer Konzentrationserhöhung bei. Durch die gute Durchmischung infolge Quelllüftung und Ablüftung stabilisiert sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei 1000 ppm über den gesamten Raumbereich. Berücksichtigt man, dass allen Sportlern in der Simulation mit 55 l/min eine relativ hohe CO<sub>2</sub>-Abgabe zugewiesen wurde, die eher einem Hochleistungs- bzw. Wettkampffall entsprechen, so kann man den Luftwechsel auch hinsichtlich dieses Indikators als ausreichend bezeichnen.



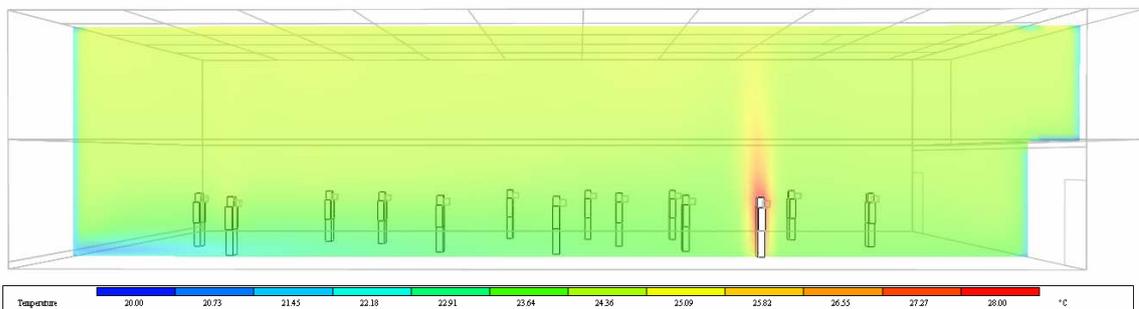
**Abbildung 132:** CFD Simulation der Halle im Winter: CO<sub>2</sub> Konzentration

Im Sommer wird die Zuluft über die Nord-Trombe-Wand geführt und gekühlt. Die Eintrittsöffnung in die Halle ist am Boden. Das Prinzip der Quelllüftung funktioniert gleich dem Winter-Konzept. Die kältere Frischluft streicht am Boden entlang bis sie an den Personen erwärmt wird und aufsteigt. Die Luftgeschwindigkeiten sind abhängig von der Zulufttemperatur. Diese variiert je nach Kühlbedarf. Zegerscheinungen sind ebenfalls keine zu erwarten.



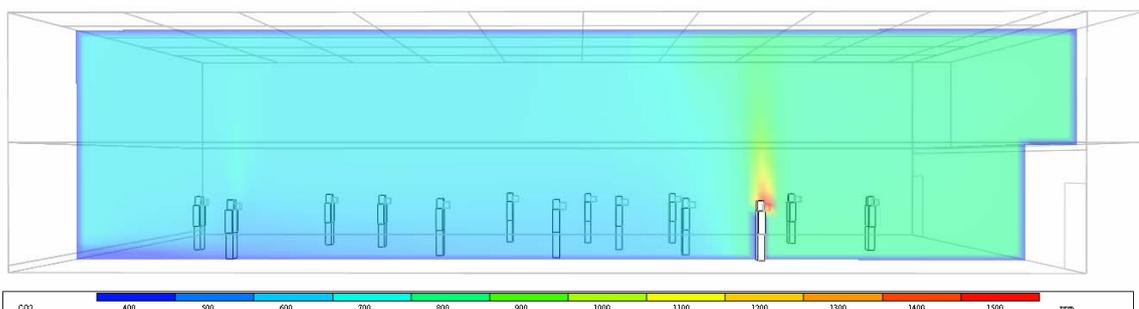
**Abbildung 133:** CFD Simulation (Luftgeschwindigkeit) der Halle im Sommer: Prinzip der Quelllüftung über die Nord-Trombe-Wand

Die Zulufttemperatur bewegt sich im behaglichen Bereich von zwei bis sechs Grad Kelvin unter der Raumlufttemperatur. In der Simulation erkennt man die niedrige Oberflächentemperatur der zweischaligen Dachkonstruktion auch im Bereich der Oberlichter. Dieser niedrige Wert ermöglicht eine höhere Lufttemperatur, bei gleicher Behaglichkeit.



**Abbildung 134:** CFD Simulation der Halle im Sommer: Temperaturverteilung

Die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Halle liegt im Bereich von 800ppm bei einer Zuluft mit 350ppm. Die Luftbewegung ist relativ gering, daher ergibt sich eine stärkere Aufteilung, jedoch mit einer an jedem Punkt der Halle geringen Konzentration.



**Abbildung 135:** CFD Simulation der Halle im Sommer: CO<sub>2</sub> Konzentration

### 10.2.3 Konzept der Trakte mit Studio und Tischtennishalle

Die Energiebedarfsanalyse dieser Räume ergibt ein sehr großes Potenzial für eine hocheffiziente WRG. Die dabei geringere Effizienz der Luftförderung ist kritisch. Als Reaktion auf dieses Problem wird eine bedarfsoptimierte Anlage mit variablem Volumenstrom vorgeschlagen.

Aufbauend auf eine RLT-Anlage mit 80% WRG wird hier der Luftvolumenstrom mittels sensorbasierter Steuerung auf den tatsächlichen Bedarf gedrosselt. Die dazu notwendigen stufenlos regelbaren Ventilatoren haben einen schlechteren Wirkungsgrad als Ventilatoren, die konstant unter Volllast arbeiten. Dies ist bereits in der angesetzten Effizienzkennzahl der Anlage berücksichtigt.

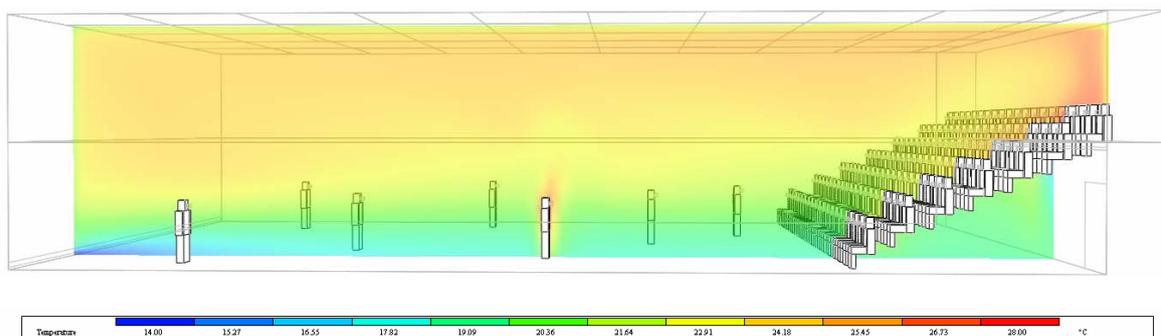
Durch Verringerung des Volumenstromes wird weit weniger Energie zur Beheizung und Kühlung benötigt.

Mit einer komplexen Steuerung zur bedarfsoptimierten Zuluftregelung reduziert man den benötigten Energieaufwand deutlich.

### 10.2.4 Strategie bei Großveranstaltungen

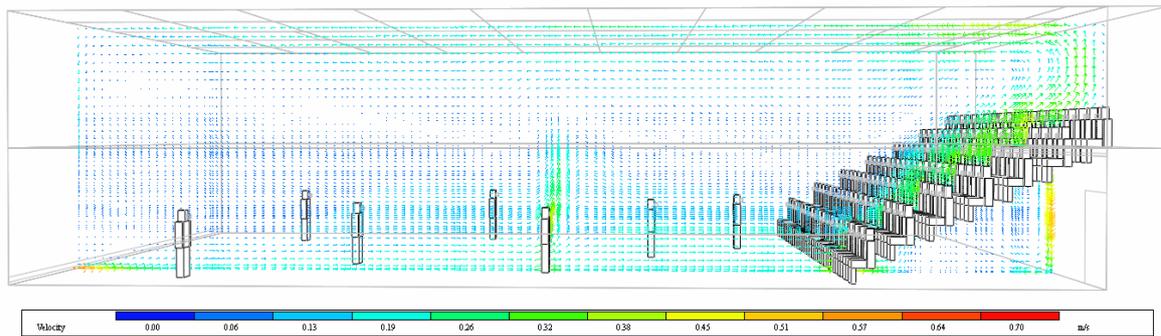
Die Nutzung der Halle ist neben dem regulären Sportbetrieb für einen Veranstaltungsfall im Winter mit ca. 400 Zuschauern und 30 Sportlern ausgelegt. In diesem Fall wird der erhöhte Lüftungsbedarf durch eine Lüftung der Halle über beide Trombe-Wände gedeckt. Die Süd-Trombe-Wand dient hier zur Deckung des Grundbedarfs mit der Zuheizung im Reingang. Die Spitzenlast übernimmt die Nord-Trombe-Wand (bei der Entwicklung des Gesamtsystems ist zu prüfen, ob eine Vorwärmung der Trombenzuluft in Fassadennähe oder in der Trombe nötig ist). Somit wird keine zusätzliche Technik oder Überdimensionierung des Systems benötigt um diese seltene Spitzenlast zu decken.

Die CFD-Simulation dieser Situation ergibt ein sehr gut funktionierendes System. Die Temperaturschichtung ist durch den erhöhten Wärmeeintrag der Besucher (100W/Person) stärker ausgeprägt als im Normalbetrieb. Es kommt auf Grund der Quelllüftung jedoch zu keiner Überhitzung. **Abbildung 136** zeigt die Temperaturschichtung in der Halle während des Wettkampfs.



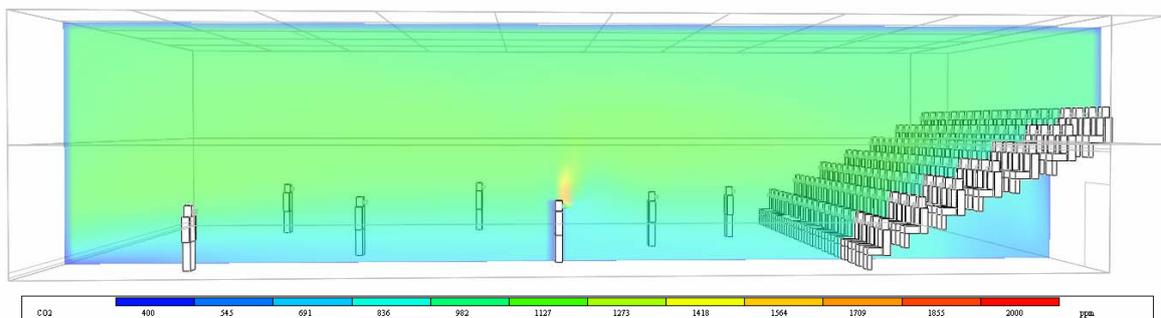
**Abbildung 136:** CFD Simulation der Halle Wettkampffall: CO<sub>2</sub> Temperaturverteilung

Die Luftgeschwindigkeiten bewegen sich in einem moderaten Bereich, was den Wettkampffall in keiner Weise beeinträchtigt. Im Bereich der Zuschauer wurde die Strömungssituation noch nicht optimiert. Hier ist eine gezielte Entwicklung des Strömungsbildes durch geeignete Zuluftöffnungen notwendig. **Abbildung 137** zeigt die Luftgeschwindigkeiten der CFD-Simulation.



**Abbildung 137:** CFD Simulation der Halle Wettkampffall: Quelllüftung über Nord- und Süd-Trombe-Wand

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration ist mit 1100 ppm vergleichbar mit dem Normalbetrieb. Die CO<sub>2</sub>-Abgabe der Besucher wurde mit 15l/s angenommen. Das zeigt die Effektivität der Lüftungsstrategie. **Abbildung 138** zeigt die geringe CO<sub>2</sub>-Konzentration trotz der großen Anzahl von Besuchern.



**Abbildung 138:** CFD Simulation der Halle Wettkampffall: CO<sub>2</sub> Konzentration

### 10.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der thermischen Simulation zeigen eine deutliche Verbesserung des Gesamtprimärenergiebedarfs im Vergleich zu der Ausgangsvariante mit verbesserter Strömungsdichtigkeit. Die Leistung der Trombe-Wand während der Heizperiode beträgt im Jahr etwa 43 MWh auf einer Kollektorfläche von 135m<sup>2</sup>. Dabei sind die solaren Gewinne und der Effekt der zusätzlichen thermischen Masse in Kombination zu betrachten.

In der Kühlperiode wird durch die zusätzliche thermische Masse und durch die Vermeidung des Wärmeeintrags durch Ventilatoren die Kühllast stark gesenkt. Bereits in der Simulation wurde der bedarfsgerechte Luftwechsel über eine Klappensteuerung in Abhängigkeit von Temperatur- und Windverhältnissen umgesetzt. Der erforderliche Luftwechsel nach der slowenischen Richtlinie ist ständig gewährleistet.

Die Temperatur in der Halle ist im Winterfall durch die Zuheizung im Raum ständig bei mindestens 18°C gesichert. Toleriert man im Sommer Schwankungen der Raumlufttemperatur, die gleitend mit einer Schwankung der Außenlufttemperatur einhergehen, so ist neben der Nachtkühlung und Kühlung durch die Nordtrombe keine zusätzliche Kühlung notwendig. Lediglich an acht Stunden während des Betriebes steigt die Hallentemperatur über 28°C.

**Abbildung 139** zeigt den Vergleich der Endvariante mit Trombe-Wand in Referenz zu den Varianten mit RLT-Anlage und 50% WRG der Ausgangsvariante und der Rasterdachvariante mit 30% Verglasung. Dabei zeigt sich eine klare Verbesserung der Gesamtprimärenergiebilanz trotz der zusätzlichen Herstellungsenergie für die zweischalige Trombe und das Dach.

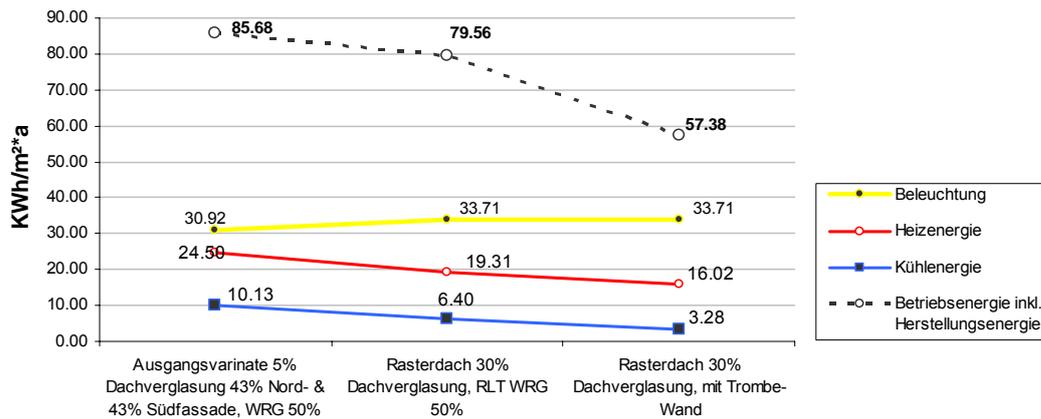


Abbildung 139: Primärenergetischer Vergleich der Trombe-Wand inklusive Herstellungenergie

Die CFD-Simulation ergibt eine ausreichende Versorgung der Halle mit Frischluft im Winter und im Sommer. Die Luftbewegungen auf Grund der Quelllüftung bewirken keine Zegerscheinungen oder Beeinträchtigungen von Sportarten. Die Vorerwärmung der Luft in der Trombe und im Reingang mit der Situierung der Zuluftöffnung 3,5m über dem Hallenboden ermöglichen eine behagliche Zulufttemperatur trotz natürlicher Lüftung.

## 10.3 SYSTEME ZUM HEIZEN UND KÜHLEN

### 10.3.1 Beheizung der Halle

Geometrisch wurde der Ansatz verfolgt, ein möglichst geringes zu beheizendes Volumen zu schaffen. Hierzu wurde die zur Ausübung des Sports erforderliche lichte Raumhöhe exakt eingehalten und der darüber für das innenliegende Tragsystem und für Installationen (Licht) nötige Raum durch eine transluzente Zwischendecke thermisch abgekapselt ( $u$ -Wert:  $2.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g=0.76$ ,  $\tau = 0.66$ ). Dieser fungiert einerseits als Pufferzone und fällt andererseits als zu beheizendes Volumen weg, obwohl er für Tragsystem und Installationen zwingend notwendig ist.

Die Beheizung der Halle erfolgt über zwei Systeme:

#### Beheizung der zugeführten Frischluft

Die Frischluftzufuhr der Halle im Winter erfolgt über das schon beschriebene Trombensystem an der Hallensüdseite. Hierdurch erfolgt eine solare Vorwärmung der Luft sowie Verringerung der Transmissionsverluste dieser Hallenseite in der Größenordnung von rd.  $35 \text{ MWh/a}$ , was einer Reduktion des Heizwärmebedarfs der Halle von  $36\%$  entspricht. Der Luftweg in der simulierten Variante sieht nach der Trombe ein Überströmen in den Reingang vor. Falls die Vorwärmung über die Trombe-Wand keine verträgliche Zulufttemperatur erreicht, muss sie über ein entsprechendes Heizsystem auf  $12^\circ\text{C}$  erwärmt werden (Mindestanforderung Reingang). Aufgrund der Wahl dieser Zulufttemperatur kann die Erwärmung besonders energieeffizient durch ein konvektives Heizsystem mit Niedertemperaturwärme beim Eintritt in den Gang erfolgen. Von dort kann die Luft direkt über geeignete Öffnungen in die Halle überströmen. In der Strömungssimulation konnte nachgewiesen werden, dass in der Halle die weitere Erwärmung der Zuluft auf Hallentemperatur sehr schnell durch Mischung erfolgt und bereits in geringer Entfernung zur Zuluftöffnung ein angenehmer Raumluftzustand herrscht. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass der gesamte Strömungsweg vom Eintritt in die Trombe bis zum Eintritt in die Dreifachhalle mit sehr geringen Strömungswiderständen ausgeführt wird. Dies betrifft z.B. die Gestaltung aller Zu-, Abluft- und Überströmöffnungen, die Trombe, das konvektive Heizsystem und andere mögliche Hindernisse (z.B. falls die Zuluftwand zur Aufbewahrung einer temporären Tribüne dienen sollte).

Das Einströmen in die Halle erfolgt in der vorgestellten Variante am jeweiligen südlichen Kopfende einer jeden Dreifachhalle, so dass die Luftversorgung auch bei Abtrennung der Hallen voneinander gewährleistet ist.

Zu beachten ist auch der Wettkampffall: Falls die temporäre Tribüne an dieser Wand aufgestellt wird, ist es möglich, die Zuluft unterhalb der Tribüne einströmen zu lassen. In der Folge könnte die Zuluft über entsprechend gestaltete Ausströmöffnungen in der Tribüne im jeweils optimalen Verhältnis sowohl den Spielern als auch den Zuschauern zur Verfügung gestellt werden.

Im simulierten Fall verlässt die Abluft an wenigen zentralen, der Zuluftöffnung gegenüberliegenden Öffnungen im Dach die Halle ohne Wärmerückgewinnung ihres Energieinhaltes.

#### Restliche Beheizung der Halle

Es verbleibt ein Restheizwärmebedarf von rd.  $44 \text{ MWh/a}$ , der direkt in der Halle gedeckt werden muss. Bei einer Spitze von  $35 \text{ kW}$  am kältesten Tag bedeutet dies eine spezifische Auslegungsheizleistung von rd.  $30 \text{ W/m}^2$ . Dies kann durch eine Fußbodenheizung erreicht werden. Sie hat den Vorteil von niedrigen Betriebstemperaturen und der Einsatzmöglichkeit einer effizienten Wärmebereitstellung. Die flächige Wärme mit hohem Strahlungsanteil, der direkt bei den Sportlern wirksam werden kann, erhöht die Behaglichkeit. Bei gleicher

Raumlufttemperatur kann eine höhere gefühlte Temperatur erreicht werden oder bei gleicher gefühlter Temperatur die Raumlufttemperatur weiter abgesenkt werden. Es ist noch zu prüfen, inwieweit eine Fußbodenheizung in Kombination mit dem gewählten Sportboden die von der Nutzungszeit abhängigen unterschiedlichen Heizleistungen (Einfluss von Belegung und solaren Gewinnen) ausreichend schnell und energieeffizient erreichen kann. In diesem Zusammenhang ist auch der Beitrag der Heizleistung der Zuluft über die Trombe zu einer raschen Erwärmung zu betrachten.

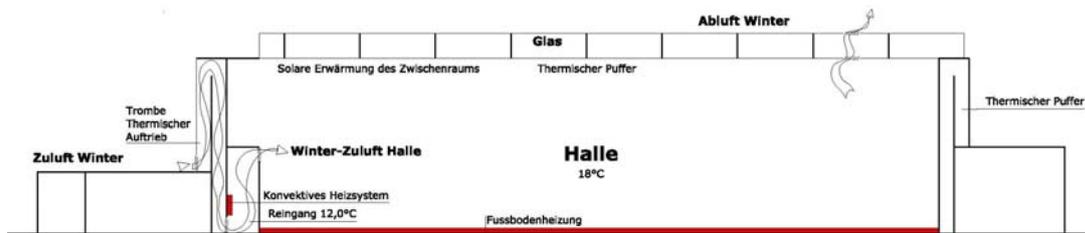


Abbildung 140: Heizungssystem

### 10.3.2 Beheizung der Trakte

Aufgrund der geschilderten Unsicherheit in der architektonischen Ausformulierung der Trakte konnte hier die Außenhülle nicht in diesem Maße optimiert werden wie die der Dreifeldhalle. So ist erst im konkreten Entwurf zu klären, ob auch die Tischtennishalle oder das Studio über eine Trombe/Luftkollektor unterstützend beheizt werden kann oder ob z.B. dezentrale Lüftungssysteme mit direktem Lüftungsweg nach außen eingesetzt werden können.

Für die Umkleiden mit Waschräumen ist zudem anzumerken, dass hier zum einen ein stark intermittierender Betrieb herrschen wird, der Spitzen und Senken in der Konditionierung hervorrufen wird und zum anderen diese zeitlich stark und schnell wechselnden Lasten auch schnell und exakt durch ein flinkes System bedient werden müssen, da die Nutzer sich auch unbedeckt dort aufhalten und entsprechend empfindlich auf Abweichungen der Raumtemperatur reagieren werden. Eine hohe Nutzerdichte verlangt gleichzeitig auch eine hohe Luftwechselrate.

#### RLT-Anlage zur Belüftung und isothermen Beheizung

Aus diesem Grund wurde hier der Einsatz eines zentralen RLT-Systems untersucht, das den geforderten Luftwechsel schnell, flink und bei angenehmen Temperaturen zur Verfügung stellen kann. Auch muss für eine ausreichende Belüftung der feuchtebelasteten Duschräume gesorgt werden, um Bauschäden zu vermeiden.

Bei Einsatz eines solchen Systems ist auf folgendes zu achten:

- **Effiziente Luftförderung:** Für die Luftförderung im zentralen Luftsystem durch einen Ventilator ist auf eine gute Effizienz zu achten, d.h. geringe Druckverluste in Kanälen und durchströmten Komponenten, geringe Einzelwiderstände sowie ein über den gesamten Drehzahl- bzw. Volumenstrombereich hoher Wirkungsgrad von Motor, Ventilator und Kraftübertragung. Anzustreben ist ein Wert von mindestens  $2.6 \text{ W}/(l/s)$ , dieser Wert wurde auch in der Simulation verwendet. In Abstimmung mit dem Anlagenhersteller sollte überprüft werden, ob auch noch günstigere Werte auf wirtschaftliche Weise erreicht werden können.
- **Hoher Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung.** Hier ist ein Wert von 80% zu erreichen (der Wert von  $2.6 \text{ W}/(l/s)$  ist stimmig dazu gewählt, da ein bessere Wärmerückgewinnung auch einen höheren Anlagenwiderstand hervorruft)
- **Volumenvariabler Betrieb mit Anpassung an den jeweils nötigen hygienischen Luftwechsel in Abhängigkeit der Belegung.** Hierbei ist bei Konstantdruckregelung der Anlage darauf zu achten, dass der Druckfühler möglich weit im hinteren Anlagenbereich situiert wird, um den druckvariablen Bereich zu vergrößern (druckvariabler Bereich bei Simulation: 47%).

Neben der hier angenommenen hervorragenden Wärmerückgewinnung in Höhe von 80% ist vor allem der volumenvARIABLE Betrieb verantwortlich für den äußerst geringen Energiebedarf für Luftförderung der RLT-Anlage für die Trakte (6.6 MWh/a gegenüber 25,8 MWh/a bei einer Konstantvolumenstromanlage). Es ist zu beachten, dass ein solch guter Wert in der Praxis aus mehreren Gründen oft nicht erreicht wird (schlechte Projektierung, zu geringe Kanal- und Anlagendimensionen aufgrund schlechterer Wirtschaftlichkeit...). Es ist auf jeden Fall auf eine sorgfältige Planung zu achten.

Auch ist zu prüfen, ob ein exakt volumenvARIABLER Betrieb für alle angeschlossenen Raumgruppen auf wirtschaftliche Weise erreicht werden kann. Denkbar wäre auch eine zweistufige Anlage, bei der eine Grundlüftung zum Beispiel in den Umkleiden ständig stattfindet und eine zweite Stufe auf Anforderung (Schalter) hinzugeschaltet werden kann. Dies könnte den Regelungsaufwand reduzieren. Zusammenfassend ist die simulierte Variante diesbezüglich das absolute erreichbare Optimum.

#### Raumheizflächen zur statischen Beheizung der Trakte

Auch die Trakte benötigen Raumheizflächen, z.B. Radiatoren, zur Bereitstellung der verbleibenden Heizwärme.

#### 10.3.3 Kühlung der Halle

Der Kühlbedarf in der Halle konnte in einem ersten Schritt durch Ermittlung der optimalen Fensterfläche in Kombination mit einem geeigneten variablen Sonnenschutz mittels Reduktion der sommerlichen solaren Wärmeeinträge reduziert werden.

Der variable Sonnenschutz liegt dabei in der gekapselten Zwischendecke und kann somit in Bezug zum Innenraum der Halle als außen liegend und sehr wirksam bezeichnet werden. Er hat damit alle wichtigen Eigenschaften eines außen liegenden Sonnenschutzes wie hohe Wirksamkeit und Einsatzsicherheit auch bei Wind und Sturm. Jeder Zwischenraum unter einem Dachfenster mit Sonnenschutz kann zudem abgelüftet werden, falls die Temperatur im Zwischenraum zu hoch wird und Gefahr eines Wärmeeintrags durch Transmission über die Zwischendecke besteht.

Die nötige Frischluft wird im Sommerfall nicht über die Süd-Trombe-Wand, sondern über eine Nord-Trombe-Wand bezogen, so dass keine solar erwärmte Luft in den Raum gerät. Der Außenbereich der Ansaugung ist so zu gestalten, dass keine Lufterwärmung auftritt, eventuell können kühlende Maßnahmen bereits im Außenraum angedacht werden, wie Verdunstungskühlung über ein vorgelagertes Gewässer oder eine wasserspeichernde Grasnarbe. Die Abluftöffnung liegt wiederum am gegenüberliegenden Ende der Halle, um eine vollständige Durchspülung der gesamten Halle zu erreichen.

Eine natürliche Durchspülung der Halle zur nächtlichen Auskühlung erfolgt während der Nacht über den Luftweg der Nordtrombe. Die Nachtkühlung betrifft unmittelbar die Hallenluft, mittelbar die Speichermassen in der Halle (z.B. Prallwände) und Speichermassen in der Trombe-Wand.

Der Innenraum der Trombe-Wand soll möglichst massiv gestaltet werden, um während der Nachtstunden das Kühlpotenzial der Außenluft optimal auszunützen, einzuspeichern und diese „Kälte“ in den ersten Tagesbetriebstunden durch die Lüftung der Halle zuzuführen.

Die Luftförderung erfolgt allein über natürliche Kräfte und Auftrieb, ein zusätzlicher Wärmeeintrag über Ventilatoren wird dadurch vermieden.

Gleitende Raumtemperaturen wurden bei höheren Außentemperaturen zugelassen, so dass nicht bei hohen Außentemperaturen auf eine feststehende „tiefe“ Temperatur heruntergekühlt werden muss. Diese Vorgehensweise berücksichtigt die Physiologie des Menschen, der vor allem Temperaturdifferenzen zu empfinden vermag. So sollte der Unterschied zwischen heißem Außenraum und Sporthalle nicht zu groß sein. Große Differenzen sind für den Körper anstrengend und können z.B. auch zu Verköhlung führen.

Auf Grund der Leistung der Masse in der Trombe-Wand kann – falls eine gleitende Temperaturerhöhung konform zur Außentemperatur toleriert wird - auf ein zusätzliches Kühlsystem verzichtet werden.

Wird dennoch eine zusätzliche Kühlung gewünscht wird eine grundwasserbasierte Kühlung vorgeschlagen.

Ein zusätzliches Kühlsystem kann im oberen Teil der inneren Nord-Trombe-Wand sitzen. Vorgeschlagen wird ein Oberflächenkühler mit geringem Strömungswiderstand, der durch den Ort seiner Installation die thermisch induzierte Durchströmung/Fließrichtung begünstigt. Die im oberen Teil der Trombe abgekühlte Luft zeigt die Tendenz infolge Dichteerhöhung im Schwerfeld nach unten zu fallen.

Die Kühlung kann über direkte Kühlung mit Grundwasser erfolgen, das am Standort in geringer Tiefe gut verfügbar ist. Grundwasser zeichnet sich durch eine im Sommer gleich bleibend geringe Temperatur um 10°C aus. Es wird empfohlen, rasch einen Pumpversuch zur Bestimmung von Mächtigkeit der wasserführenden Schicht und zur Ermittlung des entnehmbaren Massenstromes, des Temperaturniveaus und der Leistung durchzuführen. Auch wird eine frühzeitige Kontaktaufnahme zum Wasserwirtschaftsamt empfohlen, um eine Genehmigung der Grundwassernutzung abzuklären und einzuholen.

#### 10.3.4 Kühlung der Trakte

Aus den eingangs genannten Gründen wurde für die Trakte eine Optimierung durchgeführt, die jedoch nur in geringem Umfang die möglichen Auswirkungen einer guten Fassadengestaltung auf die Kühlung berücksichtigt. Die folgende Aufzählung schildert, welche Eigenschaften die Gebäudehülle bereits jetzt hinsichtlich Energieoptimierung aufweist und welche Optimierung während des konkreten Entwurfs beispielsweise noch denkbar sind.

Optimierte Eigenschaften der Gebäudehülle für die Trakte:

- Optimierung der Fensterflächen und des zugehörigen Sonnenschutzes in der Art, dass Kunstlichteinsatz vermieden wird. Der Sonnenschutz wird erst dann aktiv, wenn auch mit geschlossenem Sonnenschutz noch eine ausreichende Beleuchtungsstärke im Inneren erreicht wird. Auch bei geschlossenem Sonnenschutz nimmt die Beleuchtungsstärke nicht zu weit ab (Transmission von 50% des Sonnenschutzes)  
Die Optimierung der Fensterflächen erfolgte durch intensive Nutzung transparenter Dachflächen (z.B. 10% im Studio und 10% im Cafe)

Noch nicht optimierte Eigenschaften der Gebäudehülle für die Trakte (da stark entwurfsabhängig):

- Lüftung bisher über ein relativ konservatives System, eine mechanische RLT-Anlage, allerdings mit hoher Wärmerückgewinnung und bedarfsgerechter Regelung

In Abhängigkeit vom Entwurf sollte überprüft werden, ob nicht auch hier in Teilbereichen ein anderes System energieeffizienter ist. Denkbar wäre ein ähnliches System wie in der Halle oder bei direkter Anbindung an die Außenfassade auch dezentrale Fassadenlüftungssysteme mit kurzem Luftweg zwischen Raum und Umgebung und geringem Energiebedarf zur Luftförderung.

#### 10.3.5 Luftfeuchtigkeitsregulierung

Die relative Luftfeuchte in der Sporthalle ist großteils niedriger als die Außenluftfeuchte. Die Sportler tragen nur unwesentlich zu einer Erhöhung der Feuchte bei. Dieser Umstand rechtfertigt den Verzicht auf ein Entfeuchtungssystem.

Dennoch liegt die relative Feuchte an ca. 250 Betriebstunden zwischen 70 und 100%, wobei dies in der gleichzeitig hohen Außenluftfeuchte begründet ist.

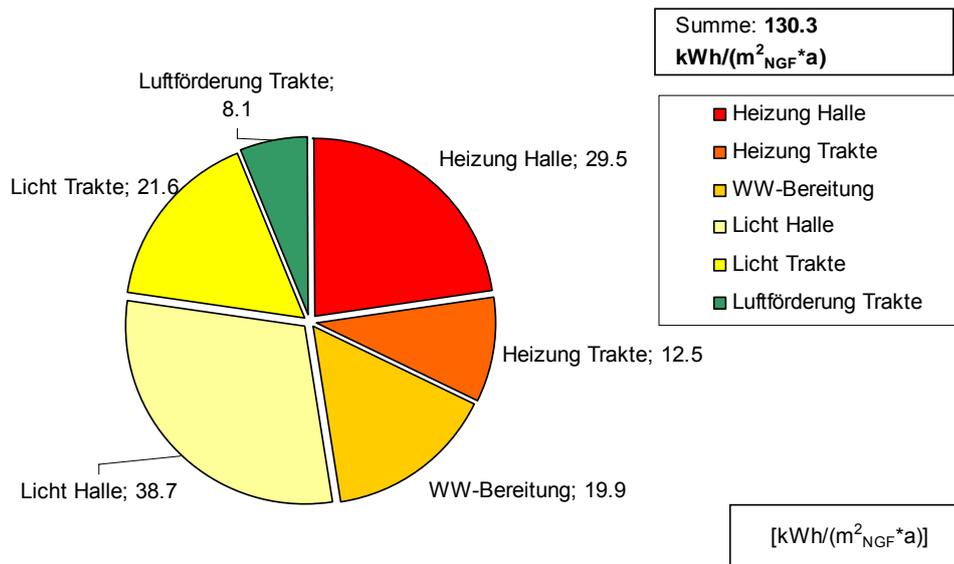
Falls eine Entfeuchtung gewünscht ist, bietet sich die Nord-Trombe-Wand und das zuvor erwähnte grundwasserbasierte System ebenfalls zur Entfeuchtung an. Dabei handelt es sich um ein aktives System, das der Luft Feuchtigkeit über eine kühle Oberfläche entzieht. Da die Oberflächentemperatur auf Grund der Grundwassertemperatur relativ hoch ist, ist die Leistung dieses Systems beschränkt, jedoch ausreichend für die Sporthalle.

Passive Maßnahmen sind generell zu Reduktion der Luftfeuchte zu empfehlen. Dabei bietet sich an, eine möglichst große raumluftberührte Oberfläche mit sorptiven Materialien zu belegen. Die Hallenbegrenzungsflächen und die Speicherwände in der Trombe könnten dazu in offener (unversiegelter) Lehmbauweise ausgeführt werden.

## 10.4 ABDECKUNG DES ENERGIEBEDARFS

Der Nutzenergiebedarf der vorgestellten Endvariante teilt sich zusammenfassend wie folgt auf die Verbraucher auf:

**Primärenergiebedarf des Gesamtgebäudes**



**Abbildung 141:** Aufteilung des Primärenergiebedarfs der Endvariante auf die Verbraucher

Die Halle erreicht mit einem Heizwärmebedarf von 29,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>\*a) einen sehr guten Wert. Bedenkt man, dass die BGF fast zur Hälfte durch eine 7m hohe Halle gebildet wird, so ist dieser Wert als noch besser einzuschätzen<sup>1</sup>.

Auf eine Kühlung kann bei tolerablen Temperaturen verzichtet werden. Bei direktem Vergleich zur Ausgangsvariante kann festgehalten werden, dass eine gleichmäßige Optimierung in allen Bereichen gelungen ist. Gleichzeitig wurde erreicht, dass über eine optimale Tageslichtbeleuchtung eine kompromisslose Verringerung des Strombedarfs für Kunstlicht erreicht wurde. Diese ist deshalb so wichtig, da in einer primärenergetischen Betrachtung elektrischer Strom hoch gewichtet wird und eine weitgehende Vermeidung stark zu einer Verbesserung der Energiebilanz beiträgt.

Auf der Ebene der Endenergie liegt das Verhältnis von Strom zu Wärme bei rd. 30/70 und legt damit eine Betrachtung von kombinierter Wärme- und Stromproduktion nahe (Kraft-Wärme-Kopplung).

Ein abschließender Vergleich des Primärenergiebedarfs sowohl zur Ausgangsvariante als auch in Bezug zu weiteren Optimierungsschritten erfolgt im Kapitel 10.5.

<sup>1</sup> Anm: Hallen werden in der Regel durch einen Wert in kWh/m<sup>3</sup>\*a beschrieben, so dass sich etwaige Grenzwerte in kWh/m<sup>2</sup>\*a um den Faktor Hallenhöhe/typische Geschosshöhe (z.B. eines Bürogebäudes erhöhen) erhöhen. Der Grenzwert für ein Passivhaus mit 15 kWh/m<sup>2</sup>a wäre damit 15\*7/3 = 35 kWh/m<sup>3</sup>a

#### 10.4.1 Lastganganalyse

Zur Ermittlung eines geeigneten Systems der Energieversorgung wurde eine Analyse der Jahreslastgänge von Wärme- und Strombedarf für die Endvariante durchgeführt (vgl. **Abbildung 142** und **Abbildung 143**). Die Abbildungen zeigen, dass Wärme für Raumwärme und in geringerem Umfang - dafür jedoch stetig - zur Warmwasserbereitung benötigt wird. Die dargestellten Werte berücksichtigen bereits die Möglichkeit, durch Wärmerückgewinnung im Duschabwasser zwischen 30 und 35% der Energie zur Warmwasserbereitung für die Duschen einzusparen, so dass dieser Bedarf nicht mehr dargestellt wird.

Der Bedarf an Strom ist vor allem geprägt durch den Bedarf an Kunstlicht und in geringem Maß zur Luftförderung für die RLT-Anlage der Trakte (vgl. **Abbildung 143**). Auffallend sind die hohen Lastspitzen an den Veranstaltungs-/Wettkampftagen, da hier ein hohes Beleuchtungsniveau verlangt wird und auch alle anderen elektrischen Verbraucher in Betrieb sind. Für diesen Fall sollte überprüft werden, ob wirklich immer 700 lux (bzw. 23 W/m<sup>2</sup>) notwendig sind. Bei Versorgung aus dem öffentlichen Netz kann sich dies - je nach Tarifstruktur - stark im zu bezahlenden Leistungspreis niederschlagen. Der Leistungspreis deckt die Vorhaltungskosten einer Lieferbereitschaft ab, so dass er bereits bei einmaliger Inanspruchnahme im Monat dieser Leistungsspitze für ein ganzes Monat gezahlt werden muss. Falls der Strom z.T. durch eine eigene Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird, ist andererseits eine Überdimensionierung zur Deckung von Lastspitzen in der Regel nicht wirtschaftlich, da eine KWK-Anlage vergleichsweise hohe Investitionen bindet.

Kältebedarf entsteht nicht, wenn die Anforderungen an das Innenraumklima der Halle - wie geschildert - flexibel und korrespondierend zur Außentemperatur gehalten werden.

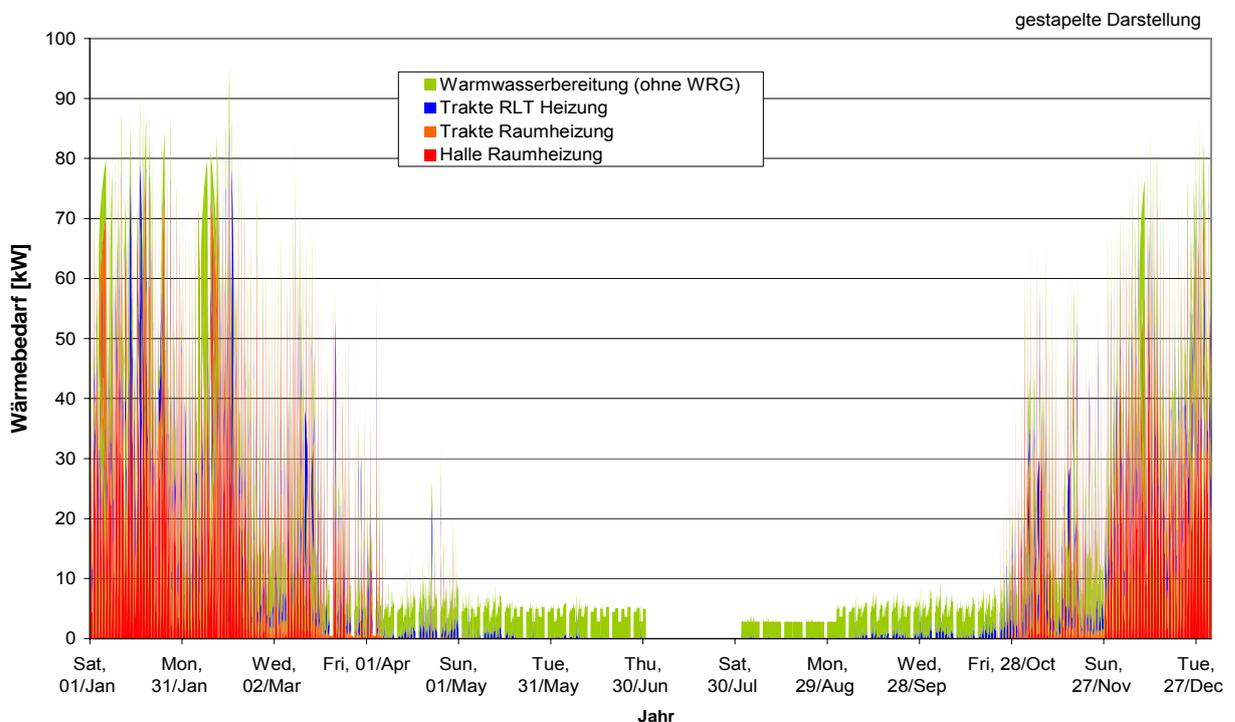


Abbildung 142: Jahreslastgang für Wärme

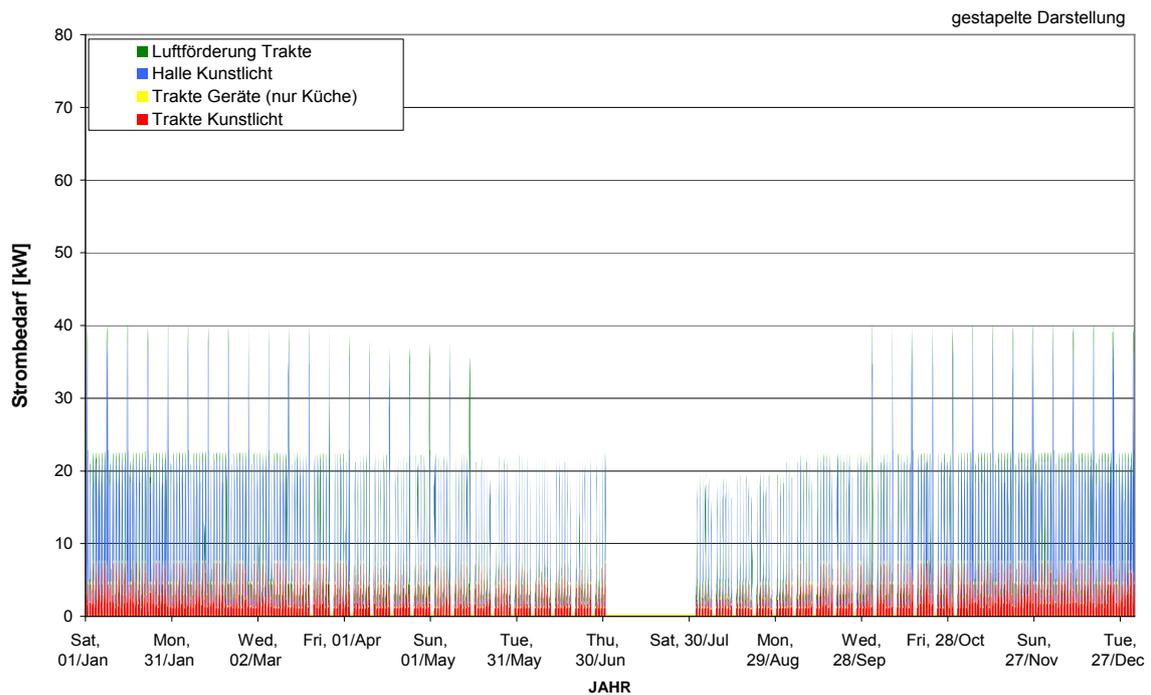


Abbildung 143: Jahreslastgang für Strom

Zur genaueren Analyse werden für Wärme und Strom jeweils Wochenlastgänge für den maximalen (Februar) und minimalen (Juni) Bedarf betrachtet.

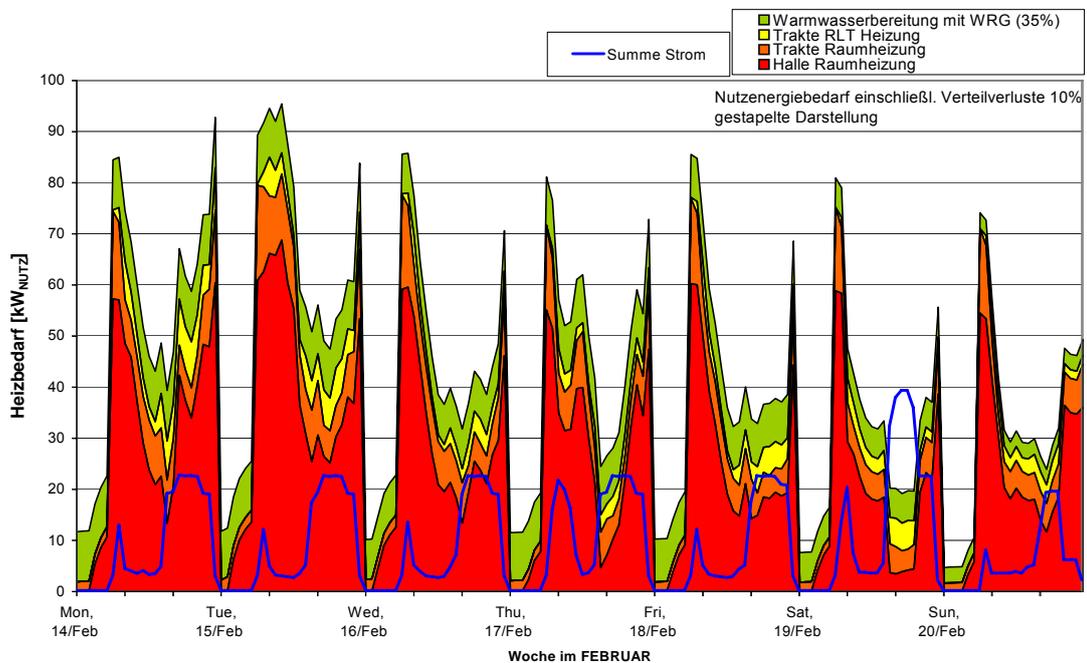


Abbildung 144: Wochenlastgang für Wärme und Strom im Februar

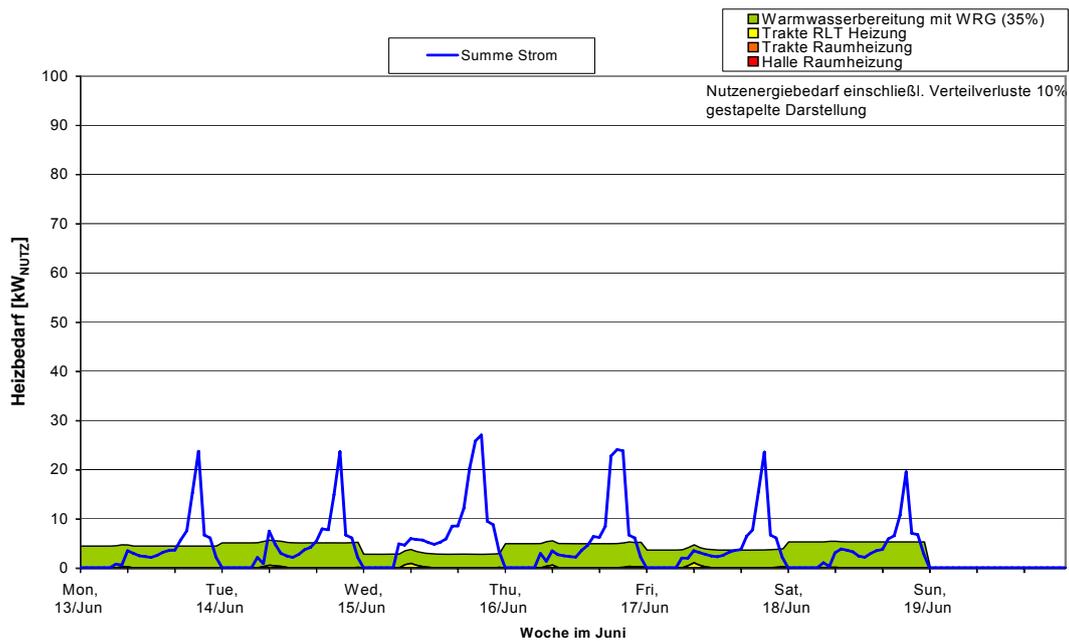


Abbildung 145: Wochenlastgang für Wärme und Strom im Juni

Am Lastgang des Wärmebedarfs für Februar erkennt man deutliche Spitzen zu Tagesbeginn und am Abend, beruhend auf den korrespondierenden Außentemperaturen, solaren Gewinnen, inneren Lasten und dem Aufheizverhalten nach der Nachtabsenkung. Die Halle hat den größten Anteil am Wärmebedarf.

Der Warmwasserbedarf wurde durch Einsatz eines Speichers bereits über 24 Stunden vergleichsmässig, so dass ein Grundlastanteil an Wärmebedarf vorhanden ist.

Der Strombedarf zeigt eine deutliche Spitze in den Abendstunden und eine noch ausgeprägtere Spitze in den Abendstunden der Wettkämpfe (vgl. **Abbildung 144**, Samstag nachmittag).

#### 10.4.2 Möglichkeiten der Energieversorgung

Als Referenzlösung wurde bei allen bisherigen Angaben zum Primärenergiebedarf folgende Versorgungslösung betrachtet, die einer herkömmlichen Lösung entspricht. Der Wärmebedarf wird durch einen Ölkessel gedeckt (Gas ist derzeit am Standort nicht verfügbar). Der Strombezug für Beleuchtung, Luftförderung, Küche und weitere Verbraucher erfolgt über das öffentliche Netz. Falls eine Komfortkühlung gewünscht wird, wird die Kälteerzeugung über eine elektrisch betriebene Kompressionskältemaschine bewerkstelligt. **Abbildung 146** zeigt die herkömmliche Bedarfabdeckung im Zusammenhang mit der Ausgangsvariante (keine Nutzung regenerativer Energiequellen).

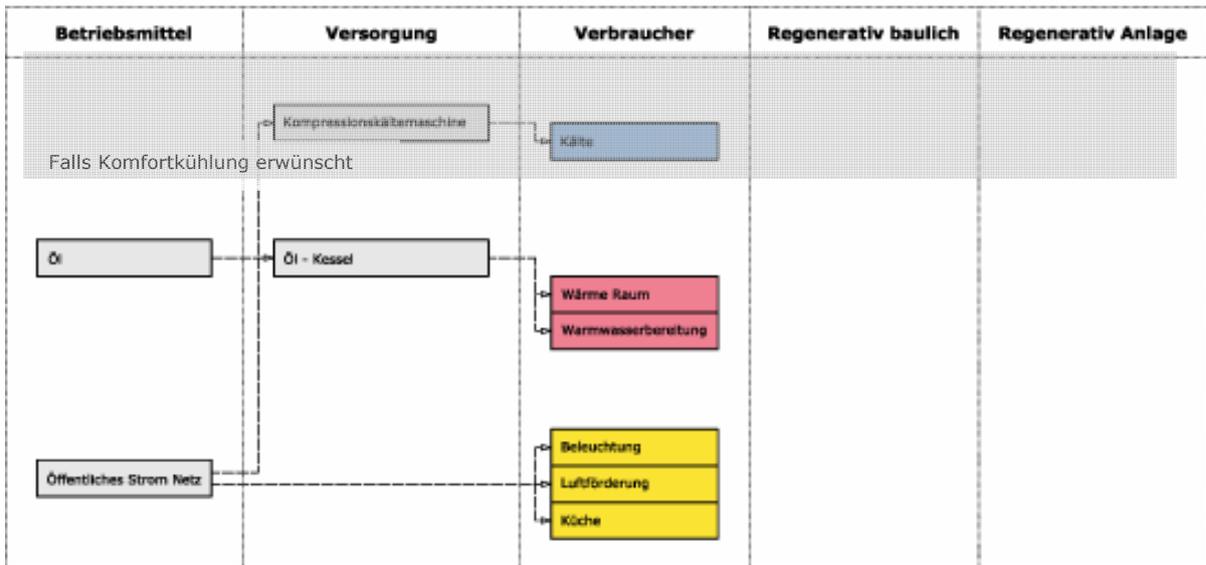


Abbildung 146: Herkömmliche Bedarfsabdeckung

Als Variante der Bedarfsabdeckung wird aufbauend auf die Performance der Endvariante eine optimierte Lösung vorgeschlagen. Der Energiebedarf der Endvariante wurde durch die bisherigen Optimierungen, wie Nutzung einer Trombewand, Auftrieb und Wind zur Luftförderung, optimierte Tageslichtnutzung etc. schon stark reduziert. Zur Abdeckung des nötigen Restenergiebedarfs wird folgendes vorgeschlagen (vgl. **Abbildung 147**):

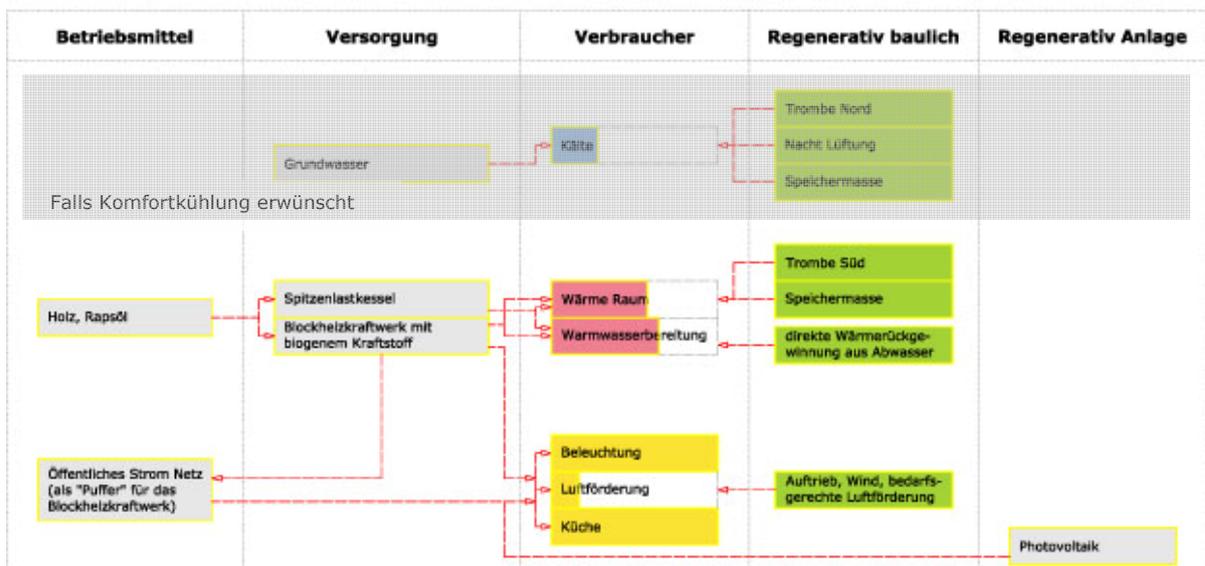


Abbildung 147: Blockheizkraftwerk, Photovoltaik (und Grundwassernutzung für Komfortkälte)

Bei der Warmwasserbereitung kann eine relativ unkomplizierte Rückgewinnung der Wärme aus dem Abwasser durch direkte Vorwärmung des Kaltwassers erfolgen. Dies erfolgt im unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit dem Duschvorgang. Nach [34] kann ca. 30 – 40% der Wärme zurückgewonnen werden. Selbst bei unterbrochener Nutzung wird bereits 13s nach Beginn des Anfahrvorgangs 63% der Wirksamkeit des stationären Zustands erreicht. Beachtet werden muss das Problem der Verschmutzung des Wärmerückgewinners durch Verschmutzungen im Abwasserstrom.

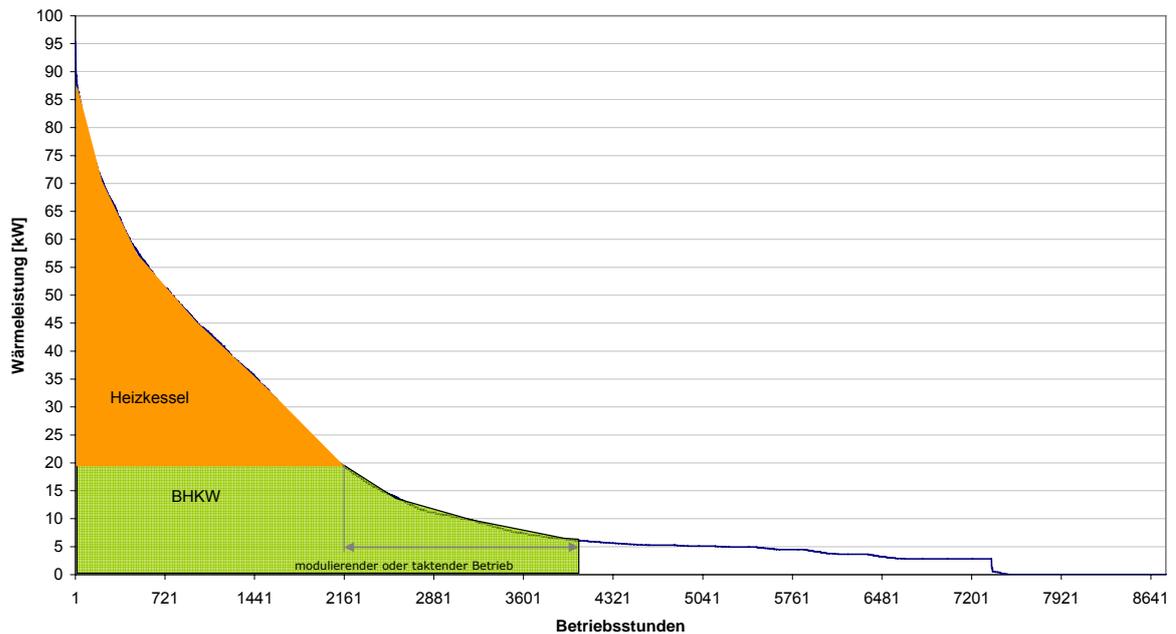
Der verbleibende Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung und Raumwärme kann effektiv durch eine Kombination aus Blockheizkraftwerk und Heizkessel gedeckt werden. Das Blockheizkraftwerk (BHKW) vermag durch die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme gegenüber der getrennten Erzeugung rd.40% an Primärenergie einzusparen. Es wird hier eine sog. wärmegeführte Betriebsweise vorgeschlagen, d.h. das BHKW ist dann im Betrieb, wenn Wärme im Gebäude benötigt wird. Der zeitgleich erzeugte Strom wird vorrangig sofort im Gebäude eingesetzt. Falls gerade kein Bedarf besteht, wird der überschüssige Strom in das öffentliche Netz eingespeist und anderen Verbrauchern im Verbund zur Verfügung gestellt.

Das BHKW sollte für einen wirtschaftlichen Betrieb so dimensioniert werden, dass möglichst lange durchgehende Betriebszeiten möglich sind und so die gegenüber einem Heizkessel höheren Investitionskosten rasch amortisiert werden. Eine entsprechende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist durchzuführen. Um zu überprüfen, welche Laufzeiten des BHKW für die Sporthalle erreicht werden kann, wurde der Wärmebedarf anhand der sog. geordneten Jahresdauerlinie untersucht (vgl. **Abbildung 148**). Hier werden die Jahresstunden nach der Häufigkeit der benötigten Heizleistung geordnet. Der grüne Bereich zeigt die Einsatzmöglichkeit eines kleinen BHKWs mit einer Wärmeleistung von rund 20kW, wobei rund 2100 Volllaststunden erreicht werden. Für weitere rund 2000 Betriebsstunden erscheint ein taktender bzw. modulierender Betrieb mit einer Leistungsabsenkung bis auf ca. 33% möglich. Der restliche Heizwärmebedarf wird durch einen Heizkessel abgedeckt.

Sowohl das Blockheizkraftwerk als auch der Heizkessel könnte durch biogene Kraftstoffe, wie z.B. Rapsöl betrieben werden. Ein derartiges Blockheizkraftwerk erreicht eine Stromkennziffer von rund 0,70, d.h. bei 20 kW thermischer Nennleistung werden rd. 14 kW elektrischer Strom produziert. Dem steht in den Abendstunden ein Bedarf von rd. 23 kW gegenüber, so dass zu diesem Zeitpunkt aus dem öffentlichen Netz zusätzlich Strom bezogen werden muss. Am Vormittag, Nachmittag und Abend kann hingegen in das öffentliche Netz eingespeist werden. Zur Vergleichmäßigung des Betriebs des BHKWs kann ein Pufferspeicher im Heizkreis eingesetzt werden.

Es wäre denkbar, dass in das Rasterdach integrierte Photovoltaikmodule zusätzlichen Strom erzeugen.

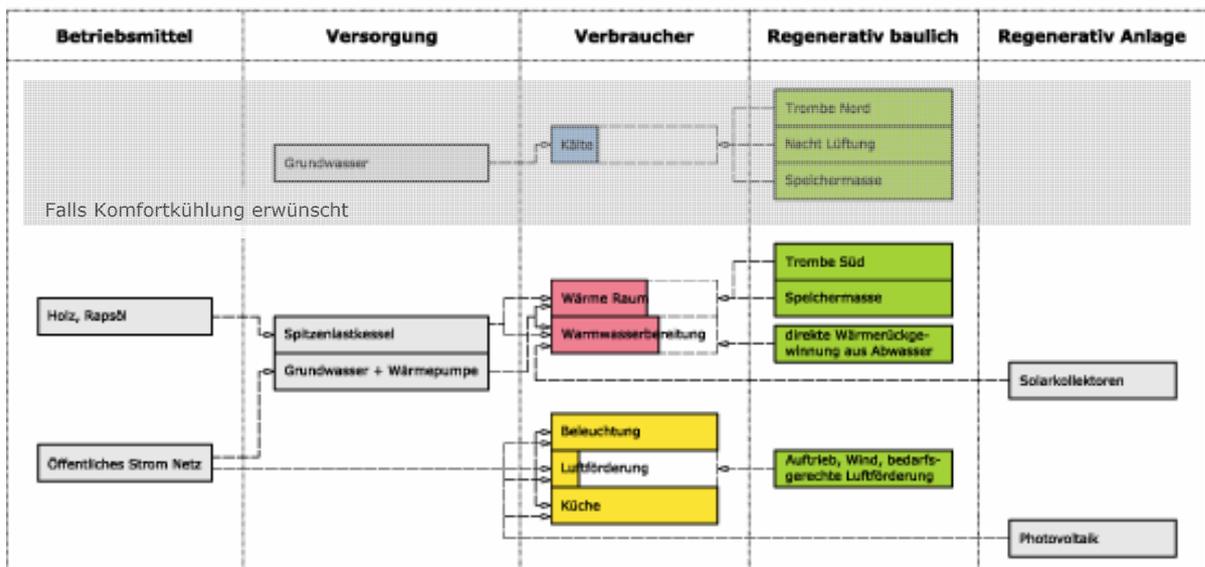
Falls es gewünscht wird, dass die Halle gekühlt wird, wäre eine Kühlung in der Nordtrombe denkbar. Ein zu entwickelnder Schwerkraftkühler könnte effektiv durch die regenerative Energie Grundwasser betrieben werden, da das natürliche Temperaturniveau des Grundwassers hierzu ausreichend wäre. Als Energieverbraucher käme lediglich eine Pumpe hinzu. Der Schwerkraftkühler müsste möglichst druckverlustarm durchströmt werden können, um das natürliche Funktionsprinzip aufrechterhalten zu können.



**Abbildung 148:** Geordnete Jahresdauerlinie zur Ermittlung von potenzieller Betriebszeit und Dimension eines wärmegeführten Grundlast - BHKW

Als alternative Möglichkeit – dargestellt in **Abbildung 149** – wäre es möglich die Wärmeversorgung durch eine grundwasserbetriebene Wärmepumpe zu erreichen. Dabei wäre es von Vorteil, die angeschlossenen Heizkreise mit Niedertemperaturwärme zu betreiben.

Das Abfahren der Spitzenlast oder der Betrieb einzelner Verbraucher, die ein höheres Temperaturniveau benötigen (ev. RLT-Luftheizregister) könnte über einen Spitzenlastkessel erfolgen. In dieser Variante könnte der nach der Wärmerückgewinnung verbleibende Bedarf an Wärme zur Warmwasserbereitung auch über thermische Solarkollektoren abgedeckt werden. Der Großteil des Strombedarfs müsste konventionell durch das öffentliche Netz gedeckt werden, einen Teil könnten in die Gebäudehülle integrierte Photovoltaikzellen übernehmen.

**Endvariante: Grundwassernutzung (Kälte + Wärme) + Solarkollektoren + Photovoltaik**


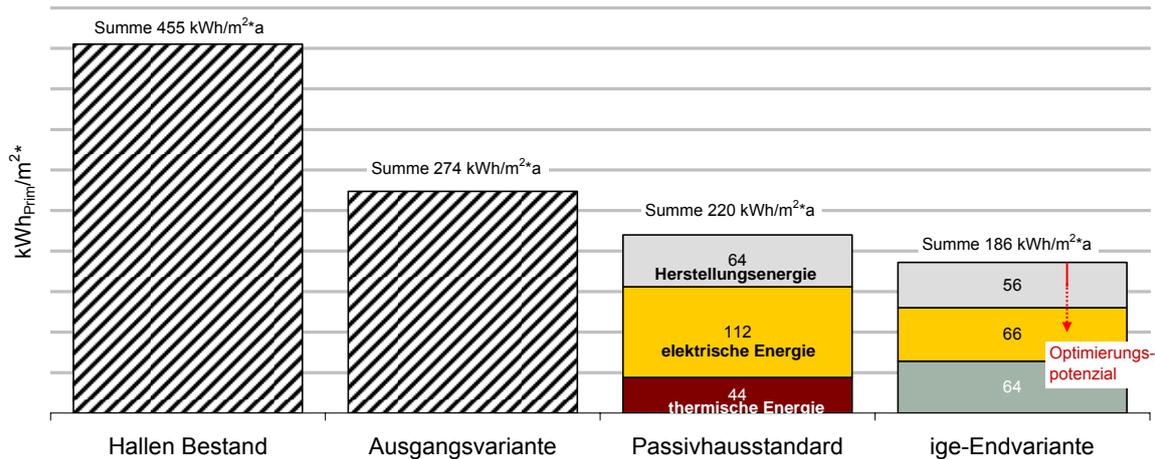
**Abbildung 149:** Grundwassernutzung mit Wärmepumpe, Photovoltaik (und Grundwassernutzung für Komfortkälte)

Falls es zeitgleich zu einer Sanierung der Schule kommen sollte, ist zu überprüfen, ob eine gemeinsame Versorgung von Sportstätte und Schule möglich ist, eventuell über ein gemeinsames BHKW.

Auch zu prüfen ist, ob eine Möglichkeit des Bezugs von Biogas oder Fernwärme aus Biogas durch die geplante benachbarte Biogasanlage zeitgerecht möglich wäre.

## 10.5 WEITERE POTENZIALE UND HINWEISE

Der Vergleich der Gesamtprimärenergie für den Betrieb und die Herstellung (umgelegt auf die Lebensdauer der Halle) zeigt das Potenzial der Endvariante. Dabei ist das positive Verhältnis von thermischer zu elektrischer Energie in der Endvariante im Vergleich zur Passivhausvariante zu beachten. Der Bedarf an hochwertigem Strom wurde stark reduziert, für die thermische Energie ist weiteres Optimierungspotenzial – wie unter Kapitel 10.5.3 ausgeführt – gegeben.



**Abbildung 150:** Variantenvergleich Sporthalle im Bestand, Ausgangsvariante, Passivhausstandard und ige-Endvariante

Die abgebildete Passivhausvariante besitzt eine optimierte RLT-Anlage mit 80% Wärmerückgewinnung und einer sehr guten Lüftfördereffizienz von 2,6 W/l\*s. Durch diese optimierte Gebäudetechnik und der bereits beschriebenen hohen Wärmedämmung ist hier kein weiteres Einsparungspotenzial zu erwarten. Hingegen besitzt die Endvariante noch zusätzliche Einsparungsmöglichkeiten, vor allem durch Wärmerückgewinnung und Optimierung der Hauptkomponenten Dach und Trombe-Wand.

### 10.5.1 Entwicklungspotenzial der Lichtdecke

Das Entwicklungspotenzial im weiteren Prozess liegt hauptsächlich in der weiteren Optimierung der Lichtöffnungen hinsichtlich Tageslichtausbeute und thermischer Performance. Die Art der solaren Energiegewinnung in der Dachfläche oder im Zwischenraum, sowie die Wahl der Materialien und ihre Bewertung sollten weiter untersucht werden. Das Dach bietet gute Möglichkeiten sowohl Solargeneratoren als auch Solarkollektoren als Teil des eigentlichen Daches zu integrieren.

Der Dämmerungsanteil der Beleuchtung kann durch eine optimale Steuerung der Lichtleistung um bis zu 50% gesenkt werden. Dazu wird die Lichtleistung des Beleuchtungssystems so geregelt, dass immer nur so viel Kunstlicht eingeschaltet wird, wie zur Erreichung der gewünschten Beleuchtungsstärke erforderlich ist. Dies kann durch ein Rastersystem an Leuchten mit stufenweiser Zuschaltung von Leuchten oder über dimmbare Leuchtmittel umgesetzt werden.

Für die Wettkampfhallenbeleuchtung ist zu überprüfen, ob wirklich 700 lux (bzw. 23 W/m<sup>2</sup>) notwendig sind. Da bei diesem Betriebsfall auch alle übrigen elektrischen Verbraucher (RLT-Anlage für Trakte und Imbissküche) in Betrieb sein werden, kommt es hier zu einer Lastspitze, die sich - je nach Tarifstruktur - stark im zu bezahlenden

Leistungspreis niederschlagen könnte. Der Leistungspreis deckt die Vorhaltungskosten einer Lieferbereitschaft ab, so dass er bereits bei einmaliger Inanspruchnahme dieser Leistungsspitze für ein ganzes Monat gezahlt werden muss.

#### 10.5.2 Entwicklungspotenzial der Lüftung

Auf die Optimierung der Trombe hinsichtlich der Art und Steuerung der Lüftungsöffnungen muss bei der Projektierung der Halle großen Wert gelegt werden. Die Berechnung und die Optimierung der Strömungsbedingungen in dem Luftkollektor muss anhand des konkreten Projektes bearbeitet werden.

Für die Trakte wurde auch in der optimierten Variante eine mechanische Anlage betrachtet. Da die tatsächliche Anordnung dieser Räume stark vom endgültigen Entwurfskonzept abhängt, wurde auf genauere Überlegungen zur natürlichen Belüftung verzichtet. Hinzu kommt, dass an diesen Bereich relativ hohe Anforderungen an die Zuluftkonditionen gestellt werden, so dass auch deshalb eine hocheffiziente mechanische Anlage diese Anforderungen grundsätzlich besser erfüllen können wird als eine natürliche Lüftung.

Dennoch wäre es auch hier denkbar, dass unter gewissen Voraussetzungen eine natürliche Belüftung zumindest unterstützend eingesetzt werden könnte.

Günstig wäre eine fassadennahe Anordnung für kurze Luftwege (z.B. direkte Anbindung an eine Außenfassade oder über den Schmutzgang) und – analog zur Dreifeldhalle – die Möglichkeit einer zeitweisen Luftvorwärmung durch solare Strahlung. Hier könnte der vorgeschaltete Schmutzgang bei Wahl einer entsprechenden Verglasung als Raum zur Luftvorwärmung dienen und als Ausgangspunkt für eine Grundlüftung herangezogen werden.

Für das Entwurfsteam wäre zu prüfen, ob eine solche Gestaltung möglich ist und ob, die Entwicklung eines entsprechenden Konzeptes gewünscht ist.

#### 10.5.3 Entwicklungspotenzial Heizung

Ein Potenzial wird zudem in einer teilweisen Wärmerückgewinnung in der Trombe oder in der Dachkonstruktion gesehen. Die dadurch erzielbare Einsparung kann als bedeutend betrachtet werden. Zur Verbesserung der Energiebilanz im Winterfall wären folgende Betriebsweisen denkbar:

- Vor Ablüftung der Luft könnte diese in den Zwischenraum der Decke (oberhalb der transluzenten Schicht) geführt werden und somit die Temperatur und Pufferwirkung dieser Luftschicht erhöhen bis sie schließlich an anderer Stelle im Dach abgelüftet wird.
- Die Abluft könnte auch gezielt in mehreren als wärmetauschende Komponenten ausgeführten langen Kanälen in der Zwischendecke ihren Wärmeinhalt an einen Teil der Frischluft nach der Trombe abgeben. Dieser Teil könnte dazu nach dem Kopfpunkt der Trombe abgezweigt werden und im Gegenstromprinzip mit diesen Kanälen über eine möglichst lange Wegstrecke im wärmeübertragenden Kontakt stehen. Der abgezweigte Luftstrom wird dann am gegenüberliegenden Hallenende nach unten geführt und dort eingebracht. Damit gäbe es eine Frischluftzufuhr an beiden Hallenseiten, was auch eine besonders gleichmäßige Belüftung der Halle zur Folge hätte.

Für alle beide Varianten wäre abzuklären, ob der bauliche Aufwand wirtschaftlich wäre und ob der zur Verfügung stehende Auftrieb infolge Thermik und Wind dann noch für alle Jahreszeiten ausreichend wäre, um das System allein durch natürliche Kräfte durchströmen zu können.

Aufgrund des noch relativ hohen Restwärmebedarfs der Halle wären über diese Art der Wärmerückgewinnung eventuell noch solch hohe Gewinne möglich, dass zur Überwindung der zusätzlichen Widerstände sogar auch kleine dezentrale

leistungsarme Dachventilatoren eingesetzt werden könnten, um in Summe dennoch eine positive Energiebilanz dieser zusätzlichen Maßnahme zu erreichen. In jedem Fall sollten Wärmegewinne und Stromeinsatz primärenergetisch bewertet werden.

#### 10.5.4 Nutzungsszenarien

Falls mittel- bis langfristig auch mit einem stark verminderter Sportbetrieb zu rechnen wäre (z.B. aufgrund demographischer Entwicklungen), wäre es untersuchenswert, ob eine entsprechend ausgebildete Trennwand eine einzelne Drittelhalle thermisch so gut trennen könnte, dass ein „lokaler“ energiesparender Betrieb möglich ist.

Nach ersten Simulationen liegt das Einsparungspotenzial, falls zwei Hallen länger nicht belegt sind und thermisch abgetrennt werden, bei ca. 30%. Die größten Einsparungen sind hier bei der Beleuchtung, der Luftförderung und Luftheizung zu erzielen.

## 11 ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt „Sporthalle der Zukunft“ beschäftigt sich mit der energetischen Konzeption einer energieeffizienten Dreifeldsporthalle und ihren zugeordneten versorgenden Bereichen, den Trakten. Das Projekt soll als Pilotprojekt in der Gemeinde Puconci im Nordosten Sloweniens entstehen und durch seinen richtungsweisenden Charakter die Möglichkeiten für einen energieeffizienten Sportstättenbau aufzeigen. Mit gleichwertiger Priorität zur Energieperformance soll ein gutes thermisches und visuelles Raumklima erreicht werden, denn nur dann ist überhaupt ein langfristiger, erfolgreicher und nachhaltiger Sportbetrieb möglich.

Die Ergebnisse dieser Studie werden als Anregung für den nachfolgenden Architektenwettbewerb erarbeitet. Da die Energieperformance des Gebäudes im Wesentlichen durch grundlegende Entwurfsentscheidungen festgelegt wird, müssen die Ergebnisse der Studie frühzeitig in entsprechende Überlegungen und Planungen Eingang finden. Es wird empfohlen, dass die Erkenntnisse dieses Berichts durch eine weitere Beteiligung des Institutes für Gebäude und Energie während des konkreten Projektes auf die Planung übertragen und detailliert werden.

Zur Entwicklung des Energiekonzepts wurde bereits ein geometrisches Gebäudemodell entworfen. Da der Architektenentwurf hiervon naturgemäß abweichen wird, ist auch deshalb eine weitere Begleitung erforderlich. Allerdings wurde darauf geachtet, dass die vorgeschlagenen Konzepte relativ anpassungsfähig sind.

Da die Dreifeldhalle an sich typologisch am wenigsten veränderlich erschien, lag der Schwerpunkt der Optimierung bei der eigentlichen Halle. Die vorgeschlagenen Konzepte für die Trakte sind abhängig vom tatsächlichen Entwurf noch optimierbar.

In einem ersten Arbeitspaket (Kapitel 1 bis 3) wurde die Aufgabe definiert, sowie der Stand der Technik im Sportstättenbau sowohl theoretisch als auch anhand von Case Studies ermittelt.

In Kapitel 4 und 5 erfolgt eine Standortanalyse für die Gemeinde Puconci hinsichtlich Grundstück und Klima sowie die Definition von Anforderungen an die Sporthalle. In diesem Zusammenhang wurden detaillierte stundengenaue Nutzungsprofile für die zu erwartenden Nutzergruppen definiert, die als Grundlage für dynamische Simulationen dienten und alle das Klima und die Energieeffizienz betreffenden Anforderungen in einem Raumbuch zusammengefasst.

Es wurde ein virtuelles Modell entwickelt, das hinsichtlich Geometrie, Funktionalität und Raumanordnung alle notwendigen Bedingungen an die Sporthalle erfüllt. Die Typologie wurde einerseits an einen bestehenden Vorentwurf angelehnt sowie durch Analysen bestehender Sporthallen bestätigt. Bereits hier wurden wichtige Gesichtspunkte wie thermische Zonierung von Raumgruppen, eine West-Ost-Orientierung zur Vermeidung von Kühllasten im Sommer und die Vermeidung negativer Auswirkungen des Gebäudes im Kontext zur Umgebung umgesetzt.

Anhand des detailgetreuen digitalen virtuellen Modells konnten nachfolgend die Untersuchungen durch dynamisch-thermische Simulationen, Tageslichtsimulationen und CFD-Simulationen durchgeführt werden. Je nach zu untersuchendem Aspekt wurden die jeweiligen charakteristischen Gebäudeeigenschaften am virtuellen Modell hergestellt und für ein ganzes Jahr im Stundenschritt simuliert (vgl. Kapitel 6 und 7).

In Kapitel 8 wurde zunächst eine Ausgangsvariante untersucht, die bereits einen relativ energieeffizienten Standard abbildet. Der Dämmstandard ist mit einem u-Wert für  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  gut, auch die Tageslichtnutzung ist über 3m hohe Lichtbänder an der Süd- und Nordfassade sowie über kleine punktuelle Dachoberlichter bereits gut. Die

Luftversorgung erfolgt sowohl für die Halle als auch für die Trakte über eine RLT-Anlage mit 50% Wärmerückgewinnung, aber mit einer relativ schlechten Gesamteffizienz für die Luftförderung.

Die Analyse des Energiebedarf dieser Variante ergibt erstmals neben den Absolutwerten einen Überblick über die Verteilung des Energiebedarfs auf die einzelnen Verbraucher und Raumgruppen, so dass Erfolg versprechende Optimierungsansätze ermittelt werden können, Schlüsselfragen und Entwicklungsziele formuliert werden konnten:

Für rund die Hälfte des Energiebedarfs wird die hochwertige Energieform Elektrizität zur Abdeckung benötigt, die stets primärenergetisch zu betrachten ist und damit sicherlich hohe Priorität in der Vermeidung besitzt. Zu etwa gleichen Teilen sind hier die Verbraucher Beleuchtung (Kunstlicht) und Luftförderung der RLT-Anlage verantwortlich. Die andere Hälfte des Energiebedarfs ist ein Bedarf an Wärme zur Raumheizung und (zu einem geringen Teil) an Wärme zur Warmwasserbereitung. Der Kühlbedarf ist relativ gering.

- Für die Beleuchtung gilt, dass aufgrund der ausgeprägten Belegung der Halle in den Abendstunden naturgemäß oft kein Tageslicht zur Verfügung steht und somit eine Verbesserung der Tageslichtnutzung während der verbleibenden Tagzeit nur schwer erreichbar sein wird. Auch wurde während der Tagzeit starke Blendung aufgrund der gewählten transparenten Flächen festgestellt. Als Entwicklungsziel wurde definiert, Blendungssituationen komplett zu vermeiden, nach Möglichkeit den Kunstlichtbedarf durch einen höheren Fensteranteil und eine bessere Positionierung der Fenster weiter zu verringern. Gleichzeitig muss der Kühlbedarf und der Heizbedarf betrachtet werden, da sich diese mit dem Fensterflächenanteil stark verändern können.
- Der Energiebedarf für Luftförderung resultiert aus der Verwendung eines mechanisch betriebenen RLT-Systems. Er liegt in der Größenordnung des Energiebedarfs der Beleuchtung und ist so völlig inakzeptabel. Die angenommenen Werte für die mechanische Effizienz des Systems sind zwar schlecht, jedoch auch in einer durchschnittlichen Planung heute so möglich und zeigen die Auswirkungen, falls dieser Aspekt nicht beachtet werden sollte. Zu berücksichtigen sind auch der vorzuhaltende Platzbedarf für Anlage und Trassen, die aufzuwendende Herstellenergie für das Gesamtsystem, die zusätzlichen Investitionskosten, der Wartungsbedarf und ein etwaiger Austausch während der Lebenszeit des Gebäudes. Mögliche Entwicklungsziele sind die Verbesserung der Effizienz der Anlage oder besser der Ersatz durch ein System, das weitgehend natürliche Antriebskräfte verwendet und dabei die gleiche Behaglichkeit erreicht.
- Immerhin 37% des hygienisch erforderlichen Luftwechsels erfolgt durch Infiltration, d.h. über eine unkontrollierte Lüftung durch undichte Fugen. Es soll überprüft werden, inwieweit diese Undichtigkeit verbessert werden kann und wie eine etwaige verbleibende Infiltration sich auf das Gesamtkonzept auswirkt bzw. einfügt.
- Der Anteil der Verluste über die Gebäudehülle infolge Transmission ist bereits relativ gering. In einer Sensitivitätsanalyse soll ermittelt werden, welchen Einfluß ein sehr schlechter Dämmstandard hätte und welchen ein sehr guter.
- Der Kühlbedarf ist relativ gering. Ziel sollte sein, auf Kühlung noch Möglichkeit komplett verzichten zu können, um nicht ein i.d.R. aufwendiges System mit Kompressionskältemaschine, Rückkühlung und Raumkühlflächen vorsehen zu müssen. Für den Kühlbedarf könnten sich aufgrund der angestrebten Optimierung des Fensterflächenanteils noch Änderungen ergeben. Es ist auch abzuklären, ob bei Verzicht auf Kühlung gleitende Raumtemperaturen hingenommen werden können.

- Warmwasserbereitung stellt einen nicht geringen Anteil des Wärmebedarfs dar. Hier ist zu untersuchen, ob Wärme zurückgewonnen werden kann und ob z.T. regenerative Energien eingesetzt werden können.

Aufbauend auf den formulierten Entwicklungszielen wurden in Kapitel 9 Untersuchungsreihen zu Situierung, Gebäudehülle, Tageslichtnutzung und Lüftung durchgeführt.

Eine Drehung des Gebäudes um 90° bringt gesamtenergetisch eine Verschlechterung, eine Absenkung um ein Geschoss verhält sich energetisch relativ neutral, wenn man auch die benötigte Energie zur Herstellung der Baugrube bei hohem Grundwasserpegel berücksichtigt.

Untersucht man die Gebäudehülle hinsichtlich des Dämmstandards, so wird auch hier oft vergessen, die Herstellenergie zu berücksichtigen. Der gewählte Dämmstandard der Ausgangsvariante sorgt im Vergleich zu geringem Dämmstandard, aber auch im Vergleich zu einer starken „Passivhausdämmung“ für die beste Energiebilanz.

Durch eine verbesserte Dichtigkeit können Verbesserungen erzielt werden, allerdings verbleibt dennoch v.a. aufgrund des Fensterflächenanteils eine restliche Infiltration, was je nach gewähltem Lüftungskonzept unterschiedlich zu bewerten ist (siehe unten).

Für die Lüftung wurde im wesentlichen untersucht, inwieweit eine verbesserte mechanische RLT-Anlage mit einer natürlichen Lüftung zu vergleichen ist, vorausgesetzt diese lässt sich als nahezu ideal, d.h. mit einem gesteuerten hygienisch notwendigen Volumenstrom, realisieren. Die mechanisch und thermisch (gute WRG mit Temperaturänderungsgrad von 70%) hocheffiziente Anlage zeigt minimale Vorteile gegenüber einer idealen natürlichen Lüftung. Allerdings zeigt eine Detailbetrachtung, dass für die natürliche Lüftung kein Strom verbraucht wird und dafür der Wärmeanteil sehr hoch ist. Für diesen Wärmeanteil ist gegenüber der mechanischen Variante hier immer noch Verbesserungspotenzial gegeben (vgl. unten Trombe und am Ende Optimierungspotenzial Wärmerückgewinnung). Da es sich um eine natürlich angetriebene Lüftung handeln soll, müssen allerdings die Optimierungsansätze, z.B. eine solare Vorwärmung oder eine Wärmerückgewinnung, so ausgebildet werden, dass die geringen natürlichen Antriebskräfte zur Luftförderung auch dann noch ausreichen. Bei einer Lüftungsvariante, deren Energieeffizienz – wie hier vorgeschlagen – nicht dominant auf Wärmerückgewinnung beruht, kann auch eine gewisse Infiltration als Bestandteil akzeptiert werden, solange Behaglichkeit gewährleistet wird.

Zur Tageslichtnutzung wurden Tageslichtsimulationen zur Untersuchung von Intensität, Gleichmäßigkeit und Blendung durchgeführt. Es wurde eine bevorzugte Anordnung der Lichtöffnungen im Dach untersucht, der Typ von punktförmig über flächig verteilt bis hin zu Sheddächern variiert und der optimale Verglasungsanteil ermittelt. Das beste Ergebnis hinsichtlich der Gesamtenergieeffizienz erzielt ein Rasterdach, das sich durch gleichmäßig verteilte Glasflächen auszeichnet, einen Flächenanteil der Verglasung von 30% hat und über eine lichtstreuende Schicht Blendung ausschließt.

In Kapitel 10 wird ein integraler Lösungsvorschlag vorgestellt, der die Optimierungsschritte anhand des virtuellen Modells zusammenfügt. Ein wichtiger Bestandteil ist das zweischalige Rasterdach, das in erster Linie durch die lichtstreuende untere Ebene für eine optimale blendfreie Belichtung sorgt, aber auch weitere Funktionen einer Sporthalle erfüllen kann. Die Zwischenschicht dient als unbeheizter Installationsraum für Sonnenschutz, der damit witterungsgeschützt ist und in Relation zur Halle somit außen liegend und sehr effektiv ist. Im Winter wird dadurch die Transmission verringert, im Sommer kann Wärme abgelüftet werden.

Beleuchtungskörper können integriert werden, so dass die Untersicht homogen wirkt und den Sportbetrieb nicht behindert (keine Abhängungen als Hindernis und Staubfänger).

Die Belüftung erfolgt auf natürliche Weise durch die thermischen Auftriebskräfte sowie in geringem Umfang durch Windkräfte. Um die bereits grundsätzlich nachgewiesene Energieeffizienz und Behaglichkeit einer natürlichen Lüftung zu erhöhen, erfolgt diese über ein Trombensystem, das eine solare Vorwärmung ermöglicht.

Im Winter sorgt der Luftweg über eine Trombe an der südlichen Hallenwand für eine Vorwärmung der Zuluft, bevor sie über den Reingang und ein konvektives Heizsystem an den Kopfenden der Einzelhallen über eine Quellluftfläche eingebracht wird. In Kombination mit einer Querlüftung wird die Abluft am gegenüberliegenden Ende im Dach abgeführt. Die Steuerung der Zu- und Abluftflächen erfolgt bedarfsgerecht in Abhängigkeit von der Hallenbelegung und der klimatischen Situation. Die zusätzlich erforderliche Heizleistung in der Halle kann über eine Fußbodenheizung erbracht werden.

Im Sommer wird die Zuluft über eine opake Trombe an der nördlichen Hallenwand zugeführt, so dass eine solare Erwärmung vermieden wird. Über diesen Weg erfolgt auch eine Nachtlüftung der Halle. Eine möglichst speicherfähige Trombe kann auch während des Vormittags noch leicht vorgekühlte Luft in die Halle bringen. Falls in Abhängigkeit zu hohen Außentemperaturen gleitende Raumtemperaturen zugelassen werden, kann auf eine aktive Kühlung verzichtet werden. Eine Option zur Kühlung besteht durch Integration eines Schwerkraftkühlsystems in die Nordtrombe. Wird Grundwasser als Kühlmedium genutzt, so bleibt der Kosten- und Energieaufwand für Herstellung und Betrieb gering.

Für das vorgeschlagene Konzept wurde die Funktionsfähigkeit und eine sehr gute Behaglichkeitssituation durch Überprüfung und Simulation von Luftgeschwindigkeiten, effektivem Luftaustausch und Raumlufttemperaturen gezielt entwickelt (thermische Simulationen und Strömungssimulationen). Die Lichtsituation wurde durch Tageslichtsimulationen abgebildet und optimiert. Auch der Wettbewerbsfall bei großer Zuschauermenge und einem gleichzeitigen Betrieb von Süd- und Nordtrombe wurde auf Funktionsfähigkeit untersucht.

Zur Deckung des verbleibenden Energiebedarfs werden nach einer Lastganganalyse zwei Varianten vorgeschlagen.

Die erste Variante schlägt ein Grundlast-BHKW zur gekoppelten Erzeugung von Wärme und Strom vor. Der verbleibende Wärmebedarf kann durch einen mit biogenen Kraftstoffen betriebenen Heizkessel gedeckt werden. Im Rasterdach können PV-Generatoren Strom erzeugen. Falls eine Komfortkühlung erwünscht ist, könnte die Zuluft über einen grundwasserbetriebenen Schwerkraftkühler gekühlt werden.

Die zweite Variante deckt den Wärmebedarf über Wärmepumpen, die Grundwasser als Wärmequelle nutzen. Die dazu benötigte Stromversorgung erfolgt sowohl über PV-Generatoren im Rasterdach als auch über das öffentliche Netz. Thermische Kollektoren werden zur Warmwasserbereitung eingesetzt.

Der abschließende Vergleich von Ausgangsvariante, Variante im Passivhausstandard und der Endvariante zeigt hinsichtlich des erreichten spezifischen Primärenergiebedarfs deutliche Vorteile für die Endvariante. Vor allem die günstige Aufteilung auf den Bedarf von thermischer, elektrischer und Herstellungenergie eröffnet speziell für die Endvariante noch weitere Einsparpotentiale, da bei ihr bisher z.B. keine Wärmerückgewinnung für die Dreifeldhalle implementiert wurde.

## 12 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung 1:</b> Ballhaus©-Prinzip Nutzungsschema, Quelle: Westfälischer Turnerbund e.V. und Initiative "Sport und Umwelt" Die Turnhalle der Zukunft: Praxisbeispiele und Perspektiven von umweltgerechten und multifunktionalen Sportstätten, Heidelberg, Müller, 2000 .....	10
<b>Abbildung 2:</b> System der Lichtlenkung der Firma Okalux, Quelle: <a href="http://www.okalux.de/produkte/marken/okasolar/okasolar-w.html">http://www.okalux.de/produkte/marken/okasolar/okasolar-w.html</a> .....	11
<b>Abbildung 3:</b> Kapillarrohrmatte der Firma Okalux, Quelle: <a href="http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i_okalux_k.pdf">http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i_okalux_k.pdf</a> .....	11
<b>Abbildung 4:</b> nanogel© der Firma Interlux, Quelle: <a href="http://www.interlux.at/documents/25_070705.pdf/">http://www.interlux.at/documents/25_070705.pdf/</a> .....	12
<b>Abbildung 5:</b> Anwendung Hologramm-Folien Ecohalle Kleinmachnov , Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004, S.218 .....	12
<b>Abbildung 6:</b> Aufbau einer TWD der Firma Okalux, Quelle: <a href="http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i_kapilux_twd.pdf">http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Infotexte/i_kapilux_twd.pdf</a> .....	13
<b>Abbildung 7:</b> TWDVS der Firma Sto, Quelle: <a href="http://www.sto.at/htmger/pr0404.htm">http://www.sto.at/htmger/pr0404.htm</a> .....	14
<b>Abbildung 8:</b> Aufbau LUCIOD©, Quelle: <a href="http://www.lucido-solar.com/ger_der.htm">http://www.lucido-solar.com/ger_der.htm</a> .....	14
<b>Abbildung 9:</b> Aufbau Vakuumpaneel der Firma Porextherm, Quelle: <a href="http://www.ecoba.de/produktedaemmstoffe/vakuumbaemmung_vakuumsolationspaneele">http://www.ecoba.de/produktedaemmstoffe/vakuumbaemmung_vakuumsolationspaneele</a> .....	15
<b>Abbildung 10:</b> Typologien Dreifeldsporthalle .....	16
<b>Abbildung 11:</b> Eingang Turnhalle (links), Quelle: <a href="http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113">http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113</a> .....	17
<b>Abbildung 12:</b> Innenansicht, Quelle: <a href="http://www.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_118,s_Projects.fb15">http://www.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_118,s_Projects.fb15</a> .....	17
<b>Abbildung 13:</b> Grundriss, Quelle: <a href="http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113">http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113</a> .....	17
<b>Abbildung 14:</b> Schnitt, Quelle: <a href="http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113">http://www.apabcn.es/sostenible/construccions/buscador/castella/busc3.asp?id=113</a> .....	17
<b>Abbildung 15:</b> Sporthalle Odenwaldschule, Quelle: <a href="http://www.plus-bauplanung.de/dna/index.php?id=1903">http://www.plus-bauplanung.de/dna/index.php?id=1903</a> .....	18
<b>Abbildung 16:</b> Sporthalle Odenwaldschule, Quelle: <a href="http://www.plus-bauplanung.de/dna/index.php?id=1903">http://www.plus-bauplanung.de/dna/index.php?id=1903</a> .....	18
<b>Abbildung 17:</b> Sonnenschutzschema, Quelle: sb sportstättenbau und bädieranlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1 .....	19
<b>Abbildung 18:</b> Energiekonzept Sommer, Quelle: sb sportstättenbau und bädieranlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1 .....	19
<b>Abbildung 19:</b> Energiekonzept Winter strahlungsreich, Quelle: sb sportstättenbau und bädieranlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1 .....	19
<b>Abbildung 20:</b> Energiekonzept Winter Strahlungsarm, Quelle: sb sportstättenbau und bädieranlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1 .....	19
<b>Abbildung 21:</b> Dammbühnhalle : Quelle: <a href="http://www.sjb.ch/cms/">http://www.sjb.ch/cms/</a> .....	20
<b>Abbildung 22:</b> Dammbühnhalle Lucisofassade: Quelle: <a href="http://www.sjb.ch/cms/">http://www.sjb.ch/cms/</a> .....	20
<b>Abbildung 23:</b> Dammbühnhalle, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	20
<b>Abbildung 24:</b> Dammbühnhalle Turnhalle, Quelle: <a href="http://www.sjb.ch/cms/">http://www.sjb.ch/cms/</a> .....	20
<b>Abbildung 25:</b> u-Werte der Bauteile, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	21
<b>Abbildung 26:</b> Bauweise zur Berechnung des Heizenergiebedarfs , Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	21

<b>Abbildung 27:</b> Sporthalle Giebelfassade, Quelle: <a href="http://www.arkuspro.de/Sites_Bogenhallen/6320_dallgow_doeberitz.html">http://www.arkuspro.de/Sites_Bogenhallen/6320_dallgow_doeberitz.html</a> .....	21
<b>Abbildung 28:</b> Innenansicht, Quelle: <a href="http://www.arkuspro.de/Sites_Bogenhallen/6320_dallgow_doeberitz.html">http://www.arkuspro.de/Sites_Bogenhallen/6320_dallgow_doeberitz.html</a> .....	21
<b>Abbildung 29:</b> Schema Energiekonzept, Quelle: Westfälischer Turnerbund e.V. und Initiative "Sport und Umwelt", Die Turnhalle der Zukunft: Praxisbeispiele und Perspektiven von umweltgerechten und multifunktionalen Sportstätten, Heidelberg, Müller, 2000 .....	22
<b>Abbildung 30:</b> Schema Energiekonzept, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	22
<b>Abbildung 31:</b> Bioclimatic Sports Centre Wageningen, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 .....	23
<b>Abbildung 32:</b> Grundriss EG, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 .....	23
<b>Abbildung 33:</b> Eingang Plaza, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 .....	23
<b>Abbildung 34:</b> Grundriss EG, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 .....	24
<b>Abbildung 35:</b> Eingang Plaza, Quelle: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 .....	24
<b>Abbildung 36:</b> Schnitt , Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	25
<b>Abbildung 37:</b> Grundriss, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	25
<b>Abbildung 38:</b> Freie Lüftung und Nachtkühlung, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	25
<b>Abbildung 39:</b> Mechanische Lüftung, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	25
<b>Abbildung 40:</b> Sporthalle Neuberend, Quelle: <a href="http://www.energie-projekte.de/">http://www.energie-projekte.de/</a> ....	26
<b>Abbildung 41:</b> Sporthalle Neuberend, Quelle: <a href="http://www.energie-projekte.de/">http://www.energie-projekte.de/</a> ...	26
<b>Abbildung 42:</b> Thermisch Simulation, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	27
<b>Abbildung 43:</b> Schnitt Lichtkonzept, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	27
<b>Abbildung 44:</b> Heizenergiebedarf, Unterteilung nach Nutzungsbereichen, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	28
<b>Abbildung 45:</b> Heizenergiebilanz, Quelle: Spindler, Edmund, Die energieeffiziente Sporthalle, 2004 .....	28
<b>Abbildung 46:</b> Slowenien mit Lage von Puconci, Quelle: Ministerium für Umwelt und Raum, Agentur der Republik Slowenien für Umwelt.....	29
<b>Abbildung 47:</b> Luftbild von Puconci, Quelle: Archiv Kema Puconci d.o.o. ....	30
<b>Abbildung 48:</b> Puconci - Zentrum .....	32
<b>Abbildung 49:</b> Bauparzellen .....	32
<b>Abbildung 50:</b> Lufttemperatur und Schwankungsbreite in °C .....	34
<b>Abbildung 51:</b> Niederschlag in mm.....	34
<b>Abbildung 52:</b> Klimadaten der Station Murska Sobota (1961-1990) .....	35
<b>Abbildung 53:</b> Monatsmittel der Lufttemperatur im Jänner .....	35
<b>Abbildung 54:</b> Monatsmittel der Lufttemperatur im Juli .....	35
<b>Abbildung 55:</b> Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur .....	36
<b>Abbildung 56:</b> Monatsmittel der Lufttemperaturen in °C.....	37
<b>Abbildung 57:</b> Extrema der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur .....	37
<b>Abbildung 58:</b> Extrema der Stundenwerte der Lufttemperatur.....	38
<b>Abbildung 59:</b> Extrema der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur in °C .....	38
<b>Abbildung 60:</b> Extrema der Stundenwerte der Lufttemperatur in °C.....	39
<b>Abbildung 61:</b> Tagesgang der Lufttemperatur.....	39
<b>Abbildung 62:</b> Monatssummen der Globalstrahlung .....	40
<b>Abbildung 63:</b> Monatssummen der Globalstrahlung in kWh/m <sup>2</sup> .....	40

<b>Abbildung 64:</b> Windrose Station Murska Sobota (1994-2003) .....	41
<b>Abbildung 65:</b> Windrose Testreferenzjahr.....	41
<b>Abbildung 66:</b> Tagesgang der Windgeschwindigkeit.....	41
<b>Abbildung 67:</b> Globalstrahlung auf unterschiedlich geneigte Flächen .....	43
<b>Abbildung 68:</b> Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur in den Monaten Juni bis August in der Nacht (0:00-7:00) .....	44
<b>Abbildung 69:</b> Grundübungsraum (OVP) für Grundschule, Dimensionen, eingebaute Ausrüstung, anreißen der Spielfelder, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007..	47
<b>Abbildung 70:</b> Grundübungsraum (OVP) für Grundschule, Dimensionen, eingebaute Ausrüstung, anreißen der Spielfelder Badminton, Volleyball, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007 .....	47
<b>Abbildung 71:</b> Grundübungsraum (OVP) für Grundschule, Dimensionen, eingebaute Ausrüstung, anreißen der Spielfelder Basketball, Handball klein, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007 .....	47
<b>Abbildung 72:</b> Sanitärknoten für Grundschule, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007 .....	47
<b>Abbildung 73:</b> Beispiel der Errechnung der benötigten Anzahl der Übungsräume für die Grundschule, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007 .....	48
<b>Abbildung 74:</b> Normativ Flächengrößen der Übungsräume für die Grundschule, Quelle: Die Anweisungen für den Bau von Grundschulen der Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007 .....	48
<b>Abbildung 75:</b> Kombiniereelastischer Sportboden: Flächenelastischer Boden mit punktelastischer Oberschicht. Verformungsmulde im Bereich der Lastverteilungsschicht großflächig, im Bereich der Oberschicht eng an die Belastungsfläche angepasst. ....	49
<b>Abbildung 76:</b> Fischgrätparkett - Holzschwingboden .....	50
<b>Abbildung 77:</b> Interaktionschema der Räume .....	63
<b>Abbildung 78:</b> Übersicht Jahresnutzung .....	67
<b>Abbildung 79:</b> Belegungsplan Winter .....	68
<b>Abbildung 80:</b> Belegungsplan (Übergangszeit) .....	69
<b>Abbildung 81:</b> Belegungsplan (August) .....	70
<b>Abbildung 82:</b> Personenbelegung bei unterschiedlichen Sportarten .....	72
<b>Abbildung 83:</b> Personenwärmen der Hallen 1 bis 3 an einem typischen Wochentag	73
<b>Abbildung 84:</b> Berechnung Personenprofil Halle im Wettkampffall.....	74
<b>Abbildung 85:</b> Berechnung Personenprofil Waschräume und Umkleiden.....	75
<b>Abbildung 86:</b> Personenprofil Küche, Cafe, Aufenthaltsräume .....	75
<b>Abbildung 87:</b> Wärmeeintrag Küchengeräte .....	75
<b>Abbildung 88:</b> Thermische Zonierung der Ausgangsvariante im Erdgeschoß .....	80
<b>Abbildung 89:</b> Verschattungsstudie Juni und Dezember .....	80
<b>Abbildung 90:</b> Virtuelles Modell, Erdgeschoß.....	81
<b>Abbildung 91:</b> Ausgangsmodell Obergeschoß.....	82
<b>Abbildung 92:</b> Ausgangsmodell Schnitt.....	82
<b>Abbildung 93:</b> Ausgangsmodell Ansichten .....	83
<b>Abbildung 94:</b> Bauteileigenschaften im Ausgangsmodell.....	84
<b>Abbildung 95:</b> Luftvolumenströme für mechanischen Luftwechsel, Quelle: Für Turnhallen DIN 18032-1, für Waschräume gemäß DIN EN 13779, für Kleinküchen ist in [15] ein stündlicher Luftwechsel von 15-25 [1/h] angegeben. Da die Küche nur zum Zubereiten von Imbissen genutzt werden soll, wird ein stündlicher Luftwechsel von 6 [1/h] angenommen, für alle übrigen Räume: Slowenische Richtlinie .....	86
<b>Abbildung 96:</b> Installierte Leistungen für künstliche Beleuchtung, z.T. aus Tabelle G17/1 aus [14].....	87

<b>Abbildung 97:</b> Gesamtenergieverbrauch Primärenergie .....	89
<b>Abbildung 98:</b> Aufteilung der Primärenergie: Raumheizung .....	90
<b>Abbildung 99:</b> Aufteilung der Primärenergie: Lichtenergieverbrauch.....	90
<b>Abbildung 100:</b> Aufteilung des Gesamtluftfördervolumens.....	90
<b>Abbildung 101:</b> Verdrehung des Ausgangsvariante um 90° nach Westen .....	92
<b>Abbildung 102:</b> Berechnungsflächen für den zusätzlichen Aushub und zusätzliche Tiefbauarbeiten .....	93
<b>Abbildung 103:</b> Primärenergetischer Vergleich der Situierungsvarianten.....	93
<b>Abbildung 104:</b> u-Werte der opaken Bauteile in den untersuchten Varianten.....	94
<b>Abbildung 105:</b> $\tau$ -Werte , $u_w$ -Werte der Fenster in den untersuchten Varianten .....	94
<b>Abbildung 106:</b> Primärenergetischer Vergleich der Dämmvarianten .....	95
<b>Abbildung 107:</b> Potenzial alternativer Baustoffe zur Einsparung von Herstellungsenergie.....	95
<b>Abbildung 108:</b> Primärenergetischer Vergleich Verbesserung der Dichtigkeit.....	97
<b>Abbildung 109:</b> Aufteilung der Beleuchtungsenergie der Ausgangsvariante A3 .....	99
<b>Abbildung 110:</b> Anteile Tag – Dämmerung – Nacht am Kunstlichtbedarf der Ausgangsvariante A3.....	100
<b>Abbildung 111:</b> Daylightfaktor am Boden der Dreifeldhalle der Ausgangsvariante	100
<b>Abbildung 112:</b> Lichteinfall auf dem Boden der Dreifeldhalle an einem sonnigen Tag 12:00.....	100
<b>Abbildung 113:</b> Ausgangsvariante: Spielrichtung Süden 21.Dezember 10:00 .....	101
<b>Abbildung 114:</b> Ausgangsvariante: Spielrichtung Süden 15.Mai 18:00 .....	101
<b>Abbildung 115:</b> Optimierung der Tageslichtausbeute der Trakte mit Studio und Tischtennishalle .....	103
<b>Abbildung 116:</b> Daylightfaktor am Boden der Dreifeldhalle mit zweischaligem Rasterdach, 30% verglast .....	105
<b>Abbildung 117:</b> Lichteinfall an einem sonnigen Tag 12:00 auf dem Boden der Dreifeldhalle mit zweischaligem Rasterdach, 30% verglast.....	105
<b>Abbildung 118:</b> Varianten der Tageslichtoptimierung im primärenergetischen Vergleich .....	106
<b>Abbildung 119:</b> Optimierung der Rasterdachverglasung .....	107
<b>Abbildung 120:</b> Aufteilung der Betriebsenergiekomponenten der Ausgangsvariante .....	109
<b>Abbildung 121:</b> Aufteilung der Betriebsenergiekomponenten der Variante natürliche Lüftung .....	110
<b>Abbildung 122:</b> Primärenergetischer Vergleich der Lüftungsvarianten .....	111
<b>Abbildung 123:</b> Primärenergetischer Vergleich der Lüftungsvarianten inklusive Herstellungsenergie der mechanischen Anlage .....	111
<b>Abbildung 124:</b> Funktionsskizzen der Lichtdecke.....	113
<b>Abbildung 125:</b> Lüftungsschema der Dreifeldhalle im Winter.....	115
<b>Abbildung 126:</b> Lüftungsschema der Dreifeldhalle im Sommer .....	115
<b>Abbildung 127:</b> Funktion der Trombe im Winter und Sommer: Thermik und Windeinfluss am Tag .....	116
<b>Abbildung 128:</b> Funktion der Trombe im Winter: Thermik und Windeinfluss am Tag .....	117
<b>Abbildung 129:</b> Funktion der Trombe im Winter: Thermik und Windeinfluss nach Sonnenuntergang .....	117
<b>Abbildung 130:</b> CFD Simulation (Luftgeschwindigkeit) der Halle im Winter: Prinzip der Quelllüftung über die Süd-Trombe-Wand .....	118
<b>Abbildung 131:</b> CFD Simulation der Halle im Winter: Temperaturverteilung .....	118
<b>Abbildung 132:</b> CFD Simulation der Halle im Winter: CO <sub>2</sub> Konzentration.....	118
<b>Abbildung 133:</b> CFD Simulation (Luftgeschwindigkeit) der Halle im Sommer: Prinzip der Quelllüftung über die Nord-Trombe-Wand .....	119
<b>Abbildung 134:</b> CFD Simulation der Halle im Sommer: Temperaturverteilung .....	119
<b>Abbildung 135:</b> CFD Simulation der Halle im Sommer: CO <sub>2</sub> Konzentration.....	119
<b>Abbildung 136:</b> CFD Simulation der Halle Wettkampffall: CO <sub>2</sub> Temperaturverteilung .....	120

<b>Abbildung 137:</b> CFD Simulation der Halle Wettkampffall: Quelllüftung über Nord- und Süd-Trombe-Wand.....	121
<b>Abbildung 138:</b> CFD Simulation der Halle Wettkampffall: CO <sub>2</sub> Konzentration .....	121
<b>Abbildung 139:</b> Primärenergetischer Vergleich der Trombe-Wand inklusive Herstellungsenergie.....	122
<b>Abbildung 140:</b> Heizungssystem.....	124
<b>Abbildung 141:</b> Aufteilung des Primärenergiebedarfs der Endvariante auf die Verbraucher .....	128
<b>Abbildung 142:</b> Jahreslastgang für Wärme .....	129
<b>Abbildung 143:</b> Jahreslastgang für Strom .....	130
<b>Abbildung 144:</b> Wochenlastgang für Wärme und Strom im Februar .....	130
<b>Abbildung 145:</b> Wochenlastgang für Wärme und Strom im Juni.....	131
<b>Abbildung 146:</b> Herkömmliche Bedarfsabdeckung .....	132
<b>Abbildung 147:</b> Blockheizkraftwerk, Photovoltaik (und Grundwassernutzung für Komfortkälte).....	132
<b>Abbildung 148:</b> Geordnete Jahresdauerlinie zur Ermittlung von potenzieller Betriebszeit und Dimension eines wärmegeführten Grundlast - BHKW .....	134
<b>Abbildung 149:</b> Grundwassernutzung mit Wärmepumpe, Photovoltaik (und Grundwassernutzung für Komfortkälte) .....	135
<b>Abbildung 150:</b> Variantenvergleich Sporthalle im Bestand, Ausgangsvariante, Passivhausstandard und ige-Endvariante .....	136

## 13 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Cody B., „Energieeffiziente Lüftung von Bürogebäuden – Teil 1 und Teil 2, Fachzeitschrift HLH, Verein deutscher Ingenieure, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, November und Dezember 2005
- [2] Cody B., Building Energy and Environmental Performance Tool BEEP, REVHA World Congress Clima 2007, Helsinki, Juni 2007
- [3] Spindler, Edmund A.: Die energieeffiziente Sporthalle: Konzepte zum EnEV-, Passivhaus- und Nullenergiestandard / 1. Aufl. - Heidelberg: Müller, 2004
- [4] <http://www.energie-projekte.de/>
- [5] sb sportstättenbau und bädieranlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1, S.19-22
- [6] The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 (SB05Tokyo)
- [7] Blüthgen J., Weischet W., Allgemeine Klimageographie, de Gruyter Verlag, Berlin, 1980
- [8] Landesstatistik Steiermark, <<http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/7954241/DE/>>, 16.08.2007
- [9] Kaltschmitt M., Wiese A., Streicher W. (Hrsg.), Erneuerbare Energien, Springer Verlag, Berlin, 2003
- [10] Lutz, Jenisch, Klopfer, Freymuth, Krampf, Petzold, Lehrbuch der Bauphysik, Teubner Verlag, Stuttgart, 2002
- [11] Quaschnig V., Regenerative Energiesysteme, Carl Hanser Verlag, München, 2006
- [12] Zimmermann M., Handbuch der passiven Kühlung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003
- [13] Larson G.W., Shakespeare R., Rendering with Radiance, The Art and Science of Lightning Visualization, Space and Light, USA: 2003, S.307-308
- [14] Pistohl W., Handbuch der Gebäudetechnik, Band 1, Sanitär/Elektro/Förderanlagen, 5. Auflage, Werner Verlag, München, 2004
- [15] Pistohl W., Handbuch der Gebäudetechnik, Band 2, Heizung/Lüftung/Energiesparen, 4. Auflage, Werner Verlag, München, 2003
- [16] Loga T., Imkeller-Benjes U., Energiepass Heizung/Warmwasser, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1997
- [17] Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Informationsschrift Raumtemperaturen, 2006
- [18] Fanger P.O., Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1973
- [19] Recknagel H., Sprenger E., Schramek R., Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 03/04, 71. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2003
- [20] Franzke U., Ziller F., Zur Frage der Luftentfeuchtung in Wohnbädern, TAB, Nr. 7-8, 2004
- [21] Ganz J., Odermatt A., Wärmerückgewinnung aus Duschenabwasser, HTA Luzern, 2001

- [22] Die Anweisungen für Schulunterricht für Bau von Grundschulen in Republik Slowenien, Ministerium für Schule und Sport, 2007
- [23] Regelwerk über Wärmeschutz und wirksame Energieverbrauch in Gebäuden, Amtsblatt Nr. 42, 2002
- [24] Schmidt R. F., Thews G., Physiologie des Menschen, 26. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1995
- [25] Westfälischer Turnerbund e.V. und Initiative "Sport und Umwelt"., Die Turnhalle der Zukunft: Praxisbeispiele und Perspektiven von umweltgerechten und multifunktionalen Sportstätten,. Heidelberg: Müller, 2000
- [26] sb sportstättenbau und bäderanlagen, Jg. 33 (1999), Nr.1,
- [27] The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005
- [28] <http://www.energie-projekte.de> 17.10.2007
- [29] Beck, Edgar, Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen, Diss Uni Kassel, 10.7.2000
- [30] Amstein + Walthert Ingenieure AG, Umwelrelevanz von Haustechnik, Eine Entscheidungsgrundlage, Zürich, November 1998
- [31] Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH, Alserbachstraße 5/8, A-1090 Wien, [www.ibo.at](http://www.ibo.at)
- [32] SIA, SNARC, Systematik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Architekturprojekten für den Bereich Umwelt, Dohkumnetation D0200
- [33] <http://www.baubiologie.at/asbn/hausderzukunft.html>, 10.10.2007
- [34] Dr. J. Ganz, Wärmerückgewinnung aus Duschabwasser, Dokument der der Firma awtec Ag für Technologie und Innovation und der HTA Luzern