

Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie

Endbericht Lünen, Dezember 2011

Autorinnen und Autoren:

Dipl.-Ing. Olaf Ahrens (ENERATIO Ingenieurbüro für rationellen Energieeinsatz GbR, Hamburg)

Dipl.-Ing. Stefan Beckert (CONSTRATA, Ingenieur-Gesellschaft mbH, Bielefeld)

Dipl.-Ing. Thomas Franke (Ingenieursozietät Schürmann – Kindmann und Partner GbR, Dortmund)

MPhys. Jessica Grove-Smith (Passivhaus Institut, Darmstadt)

Dipl.-Ing., Architekt Andreas Hitz (nps tchoban voss GmbH & Co.KG, Hamburg)

Dipl.-Ing. Wolfgang Horstmann (Ingenieurbüro für Akustik und Lärm-Immissionsschutz, Hagen)

Dipl.-Phys. Oliver Kah (Passivhaus Institut, Darmstadt)

Dr.-Ing., Dipl.-Ing. Gerd Koch (Bädergesellschaft Lünen mbH, Stadtwerke Lünen GmbH, Lünen)

Dr.-Ing. Benjamin Krick (Passivhaus Institut, Darmstadt)

Dipl.-Ing. Uwe Ostermann (Ostermann Ingenieur-Büro für Tragwerksplanung, Lünen)

Dipl.-Ing. Sören Peper (Passivhaus Institut, Darmstadt)

Dipl.-Ing. Markus Pöter (Ingenieursozietät Schürmann – Kindmann und Partner GbR, Dortmund)

Dipl.-Ing. Tanja Schulz (Passivhaus Institut, Darmstadt)

Dipl.-Ing. Frank Bramey (Stapelmann & Barmey AG, Architekten und Ingenieure, Schalksmühle)





Bädergesellschaft Lünen mbH
Borker Straße 56-58
44534 Lünen
Tel. 02306 / 707-111
E-Mail: info@baeder-luene.de
www.baeder-luene.de



Stadtwerke Lünen GmbH
Borker Straße 56-58
44534 Lünen
Tel. 02306 / 707-111
E-Mail: info@SWL24.de
www.SWL24.de

nps tchoban voss

Hamburg Berlin Dresden
Architektur und Städtebau

nps tchoban voss GmbH & Co. KG

Kommanditisten:
Dipl.-Ing. Architekt Alf M. Prasch
Dipl.-Ing. Architekt Sergei Tchoban
Dipl.-Ing. Architekt Ekkehard Voss

Ulmenstraße 40 22299 Hamburg 040/48 06 18-0
www.npstv.de, mail@npstv.de



**INGENIEURBÜRO FÜR RATIONELLEN
ENERGIEEINSATZ GbR**

Olaf Ahrens-Michael Hildmann
Gerd Holtkamp-Michael Müller

Alsterdorfer Straße 276, 22297 Hamburg
Tel: 040-514828-0 www.eneratio.de



Rheinstr. 44-46
64283 Darmstadt
Tel. 06151 / 826 99-0
E-Mail: mail@passiv.de
www.passiv.de

Stapelmann und Bramey AG
Architekten und Ingenieure
info@stapelmann-bramey.de

Mühlenweg 28
58579 Schalksmühle
Tel: 02355/ 9283-0

**Ingenieurbüro für Akustik und
Lärm-Immissionsschutz**
Dipl.-Ing. Peter Buchholz
E-Mail: ialhagenbuchholz@aol.com

Eppenhauser Straße 101
58093 Hagen
Tel: 02331 51616
Fax: 02331 58015

CONSTRATA
Ingenieur-Gesellschaft mbH
E-Mail: beckert@constrata.de

Oberntorwall 16-18
33602 Bielefeld
Tel: 0521 400 75-0
Fax: 0521 400 75-10

OSTERMANN
Ingenieur Büro für Tragwerksplanung
E-Mail: info@ib-ostermann.de

Münsterstraße 50
44534 Lünen
Tel: 02306 306130
Fax: 02306 3061320

**Ingenieursozietät Schürmann, Kindmann
und Partner GbR, Dortmund**
E-Mail: info@skp-ing.de

Prinz-Friedrich-Karl-Str. 36
44135 Dortmund
Tel: 0231 9520770
Fax: 0231 47717920

Gefördert durch die



DBU Aktenzeichen: 27316 – 24/2

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort: Gemeinschaftlich verantwortungsvoll gestalten	1
2	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	3
3	Einführung.....	7
3.1	Die integrale Planung als Projektgrundlage.....	7
3.2	Projektbeschreibung.....	11
3.3	Baurechtliche Grundlagen	12
3.4	Optimierungen der Konzeptionen für einen ökologisch nachhaltigen und zukunftsorientierten Standort Lippe Bad Lünen	12
3.5	Projektsteuerung	15
4	Gebäude.....	19
4.1	Baugrundstück.....	19
4.2	Baukörper- und Bereichsgliederung	21
4.3	Statisches Konzept.....	26
4.3.1	Bestandsgebäude, ehemaliges Fernheizwerk	26
4.3.2	Neubauteil.....	28
4.4	Farbliche Gestaltung der Außenbauteile	30
4.5	Bauteilkonstruktionen Gebäudehülle	30
4.5.1	Boden gegen Erdreich	31
4.5.2	Außenwand gegen Erdreich.....	32
4.5.3	Außenwand gegen Außenluft.....	32
4.5.4	Dächer gegen Außenluft.....	33
4.5.5	Fenster und Glasfassaden.....	34
4.5.6	Innenbauteile zwischen Temperaturzonen	42
4.6	Wärmebrücken	44
4.7	Luftdichtheitskonzept.....	47
4.8	Sommerfall	48
4.9	Tageslichtoptimierung	48
4.9.1	Tageslichtquotient.....	48
4.9.2	Optimierung der Tageslichtnutzung im Gebäudebestand	49
4.9.3	Optimierung der Tageslichtnutzung im Hallenbereich Ost.....	54
4.9.4	Optimierung der Tageslichtnutzung im westlichen Neubau	58
5	Gebäudetechnik	61
5.1	Allgemeines.....	61
5.2	Energieversorgung, Primärenergiefaktoren.....	61
5.3	Lüftungstechnik und Wärmerückgewinnung.....	62
5.3.1	Auslegung.....	62
5.3.2	Regelung.....	65
5.4	Reduzierung der Verdunstung: Wesentliches Energiesparpotential erschlossen.....	66
5.5	Beckenwasser- und Schwimmbadtechnik	67
5.5.1	Optimierung der Hydraulik	67
5.5.2	Beckenwassererwärmung: Abwärmenutzung	68
5.5.3	Filtration: Ultrafiltration bringt Vorteile	68
5.5.4	Chlorung: Sicherste und behaglichste Lösung gewählt	70
5.6	Heizungstechnik	71
5.6.1	Wärmebedarf: Wesentlich reduziert.....	71
5.6.2	Wärmeversorgung: Brennwertnutzung	71
5.6.3	Wärmeverteilung: Keine statischen Heizflächen	72
5.7	Trink-/Brauchwasser, Abwasser, Regenwasser	73

5.7.1	Spülabwasser: Kontinuierlicher Anfall ermöglicht Recycling	73
5.7.2	Regenwassernutzung: Wegen des Recycling-Konzeptes nicht sinnvoll	75
5.7.3	Brauchwasser: Konsequenter Einsatz wassersparender Technik	75
5.7.4	Trinkwasserhygiene: Ultrafiltration und Chlordioxidzugabe	75
5.7.5	Trinkwarmwasser: Zirkulationsleitung vermieden	76
5.8	Elektroeinsatz und Effizienzbedingungen	76
5.8.1	Strombedarf: Reduktion und Eigenerzeugung	76
5.8.2	Beleuchtung: Reduktion des Energiebedarfes durch effiziente Leuchten, intelligente Steuerung und Lichtsimulationen	77
5.8.3	Anlagentechnik: Effiziente Pumpen, Motoren, Ventilatoren und Verdichter	78
5.9	Monitoring	79
5.9.1	In-Situ-Messungen von Energie- und Stoffströmen, Temperatur und Luftfeuchte	79
5.9.2	Luftschadstoffe	80
5.9.3	Blower Door Messung	81
5.9.4	Thermographie	81
6	Energiebilanz / Simulation	81
6.1	Stationäre Energiebilanz	82
6.1.1	Zonierung	82
6.1.2	Randbedingungen	84
6.1.3	Ergebnisse	88
6.2	Dynamische Gebäudesimulation	91
6.2.1	Zonierung	91
6.2.2	Randbedingungen	92
6.2.3	Ergebnisse	94
6.3	Vergleich der Rechenverfahren	96
6.4	Vergleich der Energiebilanzen des Lippe Bades als Passivhaus wie geplant und nach EnEV	100
7	Reinigungskonzept	104
7.1	Anforderungsprofil	105
7.2	Lösungsansätze zum Anforderungsprofil	106
7.2.1	Gestaltung der Sauberlaufzone	106
7.2.2	Bodenbelag zum Anforderungsprofil	107
7.2.3	Lösungsansätze zur maschinell gestützten Boden-Nassreinigung, zu den Verglasungsflächen und dem Bodengefälle in Nassbereichen	108
7.2.4	Eingetretene Neuerungen im Rahmen des Projektfortschritts	116
8	Akustikkonzept	117
8.1	Planung	118
8.2	Zu erwartende Nachhallzeiten in den Schwimmhallenbereichen	119
9	Brandschutz	124
9.1	Einleitung	124
9.2	Baurechtliche Einstufung	124
9.3	Brand- und Rauchabschnitte	125
9.4	Baulicher Brandschutz	127
9.5	Rettungswege	129
9.6	Anlagentechnischer Brandschutz	129
9.7	Fazit	130
10	Kosten und Wirtschaftlichkeit	131
11	Quellen	135

1 Vorwort: Gemeinschaftlich verantwortungsvoll gestalten

Aktuelle Bauvorhaben werden mehr denn je über Zeitbedarf und Baukosten getrieben und oft hapert es an der so wichtigen Verantwortung für Behaglichkeit und Folgekosten (Betriebs- und Instandhaltung). Die überwiegende Konsequenz ist die Beschränkung im Gestaltungsprozess auf Standards (in Konzepten und Qualitäten). Diese Situation ist unzulänglich, da die Lebenszyklen von Bauten in der Regel mehrere Jahrzehnte betragen und unser Wohlergehen über das Leben von Generationen mit und in Bauten sehr weitreichend beeinflusst wird. Eine auf umfassendem Wissen basierende und ideenreiche Planungsleistung, mit Berücksichtigung der Beziehungen zwischen Architektur, Nutzungsqualität, Technikbedarf und Kosten, ist der bessere Ansatz. Dafür müssen Bauherren vom Besseren getrieben sein und ausreichend Raum geben (Fachleute, Zeit, Budget).

Wesentlich für eine erfolgreiche Planung ist das gegenseitige Verständnis (Fachkenntnis) der anderen Planungsdisziplinen. Dies gilt besonders für innovative Ansätze, da hier neue Wege beschritten werden, die alle Planer auf ihrem Fachgebiet verständlich und nachvollziehbar darstellen müssen. Die Planung und Errichtung energiesparender Gebäude auf hohem Qualitätsniveau sind Aufgaben, die den Einsatz aller Beteiligten erfordern. Dies ist im Bewusstsein aller Partner zu verankern. Ziel muss sein, gestalterische, technische und energetische Aspekte in ein funktionales Gesamtkonzept zu führen.

Die Übertragung des Passivhausstandards auf Hallenbäder verspricht eine deutliche Reduzierung des Energiebedarfes gegenüber dem Standardneubau. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Bereitschaft zur Innovation von allen Planungsbeteiligten unabdingbar. Dies gilt sowohl für die Bauherren als auch für alle zu beteiligenden Fachplaner. Es muss die Bereitschaft und Aktivität da sein, dem gesetzten Ziel entsprechend neue Wege zu gehen.

Für die Auswahl der Planungsbeteiligten sind Innovationsbereitschaft, Interesse an neuem Wissen und Teamfähigkeit maßgebend. Individuelle Erfahrungen aller Teammitglieder im Passivhausbereich sind weniger maßgebend, da im Zuge des integralen Planungsprozesses die Erarbeitung von Lösungen gemeinschaftlich und in Abstimmung aller Beteiligten verläuft (eigenes Wissen vermitteln □ vom anderen Wissen lernen).

Die Grundsätze energiesparenden Bauens sind weitestgehend bekannt. Dennoch sind die Auswirkungen von Planungsentscheidungen auf die Energiebilanz nicht immer offensichtlich. Bei dem hier vorgestellten Hallenbadneubau sind neben einer Reihe neuer Effizienzkonzepte, bekannte Planungsaspekte des Passivhausbaus

umzusetzen. Diese Zielstellung muss frühzeitig und konkret kommuniziert werden, damit sie umfassend bei allen Planungsschritten berücksichtigt wird.

Bereits in der Vorentwurfphase müssen diejenigen Aspekte untersucht werden, die wesentlichen Einfluss auf das energetische Konzept des Gebäudes haben. Hier sind unter anderem Orientierung, Kompaktheit und Zonierung zu nennen. Diese Maßgaben haben weitreichende Auswirkungen auf das energetische Konzept des Gebäudes und sind vor allem für eine wirtschaftliche Umsetzung des Projektes von Bedeutung. Umso wichtiger ist es, dass bereits in dieser frühen Phase alle Fachplaner gemeinsam Lösungsansätze diskutieren. So sind Entscheidungen bezüglich der Kompaktheit und Zonierung sowohl unter gestalterischen und gebäudetechnischen Gesichtspunkten als auch unter Aspekten der Tageslichtversorgung und des Brandschutzes abzuwägen. Im hier vorgestellten Hallenbadprojekt (Lippe Bad Lünen) ist die Zonierung und Kompaktheit allein durch die Nutzung weitestgehend vorgegeben. Dennoch sind von Beginn an Fragen bezüglich der Lage der Lüftungsgeräte und der zugehörigen Kanalführungen zu berücksichtigen. Dies wurde anhand mehrerer Kellervarianten in Zusammenarbeit der Fachplaner diskutiert. Durch die gegebenen Randbedingungen des zu integrierenden Bestandsgebäudes (Lage, Kubatur) werden sowohl die solaren Gewinne als auch die Möglichkeiten zur Tageslichtversorgung des Hallenbereiches beeinflusst. Auch hier konnten nur durch frühzeitige, gemeinsame Überlegungen die Ergebnisse der Tageslichtuntersuchungen effektiv und kostengünstig in den Planungsprozess einfließen.

Die Grundsätze energiesparenden Bauens müssen bei zunehmendem Detaillierungsgrad der Planung berücksichtigt werden, um häufige Korrekturläufe zu vermeiden. Besonders zu nennen ist hier die Planung bezüglich der Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit. Die Abstimmung der Details durch die Fachplaner hilft Kollisionspunkte frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Nur der integrale Planungsprozess und die gemeinsame Kontrolle des Planungsstandes aller Fachplaner sind geeignet, eine qualitativ hochwertige Ausgangslage zur Umsetzung des Bauvorhabens zu gewährleisten.

Besonderheiten gegenüber herkömmlichen Gebäuden müssen bereits in der Ausschreibung reich an verständlichen Details vermittelt werden. Alle ausführenden Firmen zur Gebäudehülle müssen wissen, dass eine besonders luftdichte Ausführung zu realisieren ist, deren Qualität mittels Blower-Door-Test geprüft wird. Allen Fachplanern obliegt die besondere Aufgabe, mit Hilfe einer detaillierten Planung und Beschreibung (Qualitäten, Arbeitsgänge, besondere Maßnahmen), jedem Bieter seine konkreten Aufgaben und Leistungsbereiche zu vermitteln, damit dieser sein Angebot klar und aufwandsgerecht kalkulieren kann. Seitens des Bauherrn muss die Bereitschaft vorhanden sein, mehr Engagement zur

Ablaufüberwachung und Qualitätssicherung vergleichsweise zu Standardprojekten zu leisten.

2 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit der Planung des Lippe Bades Lünen ist es gelungen, ein Hallenbad mit Konzepten der Passivhaus Technologie umzusetzen. Die mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) erarbeitete Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im öffentlichen Hallenbad (Bädergesellschaft Lünen und PHI 2009) war das grundlegende Fundament dazu.

Durch die thermisch sehr hochwertige Gebäudehülle konnte der Transmissionswärmebedarf relativ zu Standard-Neubauten und noch deutlicher zu bestehenden Bädern signifikant gesenkt werden. Aus der entscheidenden thermischen Verbesserung der Gebäudehülle, hier insbesondere der transparenten Bauteile, resultieren höhere minimale Oberflächentemperaturen (vgl. Abbildung 1), durch welche die Möglichkeit gegeben ist, im Bad höhere relative Luftfeuchten zu fahren.

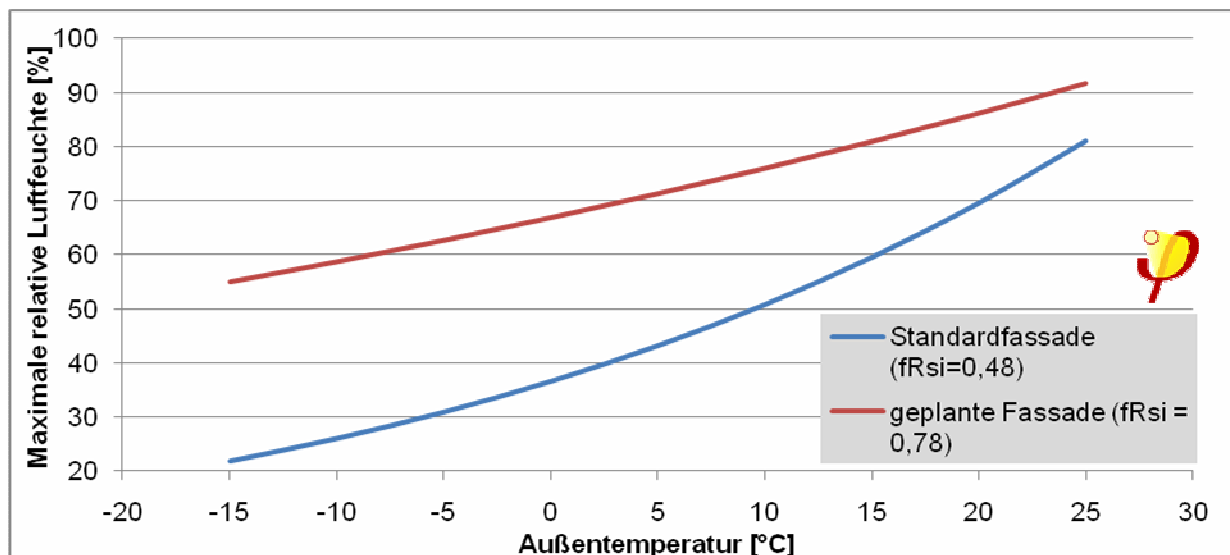


Abbildung 1: Maximale tauwasserfreie Raumluftheuchten einer Standardfassade (Aluminium Tragsystem, 2-Fach Verglasung, Aluminium Randverbund) und der geplanten Fassade in Abhängigkeit von der Außentemperatur (Quelle: PHI).

Diese Maßnahme senkt die Verluste durch Verdunstung von Beckenwasser erheblich. Durch den konsequenten Einsatz äußerst hochwertiger Lüftungswärme-

tauscher, sowie eine intelligente Lüftungssteuerung werden die Luftvolumenströme und die Lüftungswärmeverluste deutlich reduziert.

Heizung und Warmwasserbereitung arbeiten konsequent mit Niedertemperaturwärme, es werden durchgehend höchst energieeffiziente elektrische Anlagen eingesetzt (Beleuchtung, Pumpen, Motoren).

Laut dem aktuellen Stand der Energiebilanzierung mittels eines modifizierten Passivhaus Projektierungs-Paketes (PHPP) konnte der Endenergiebedarf durch diese Maßnahmen auf 549 kWh/(m²a) reduziert werden.

In Verbindung mit den Beiden Blockheizkraftwerken am Standort Lippe Bad, von denen eines mit Biogas und eins mit Erdgas betrieben wird, lassen sich durch die Nutzung von Ab- und Brennwertwärme auf Niedertemperaturniveau (vgl. Abbildung 2) ausgesprochen vorteilhafte Primärenergiefaktoren für die Beheizung und die Warmwasserbereitung von unter 0,1 erreichen. Es resultiert ein Primärenergiebedarf von lediglich 409 kWh/(m²a). Es wird erwartet, dass dieser Wert im weiteren Verlauf der Planung durch die Konkretisierung der Anlagentechnik weiter sinkt.

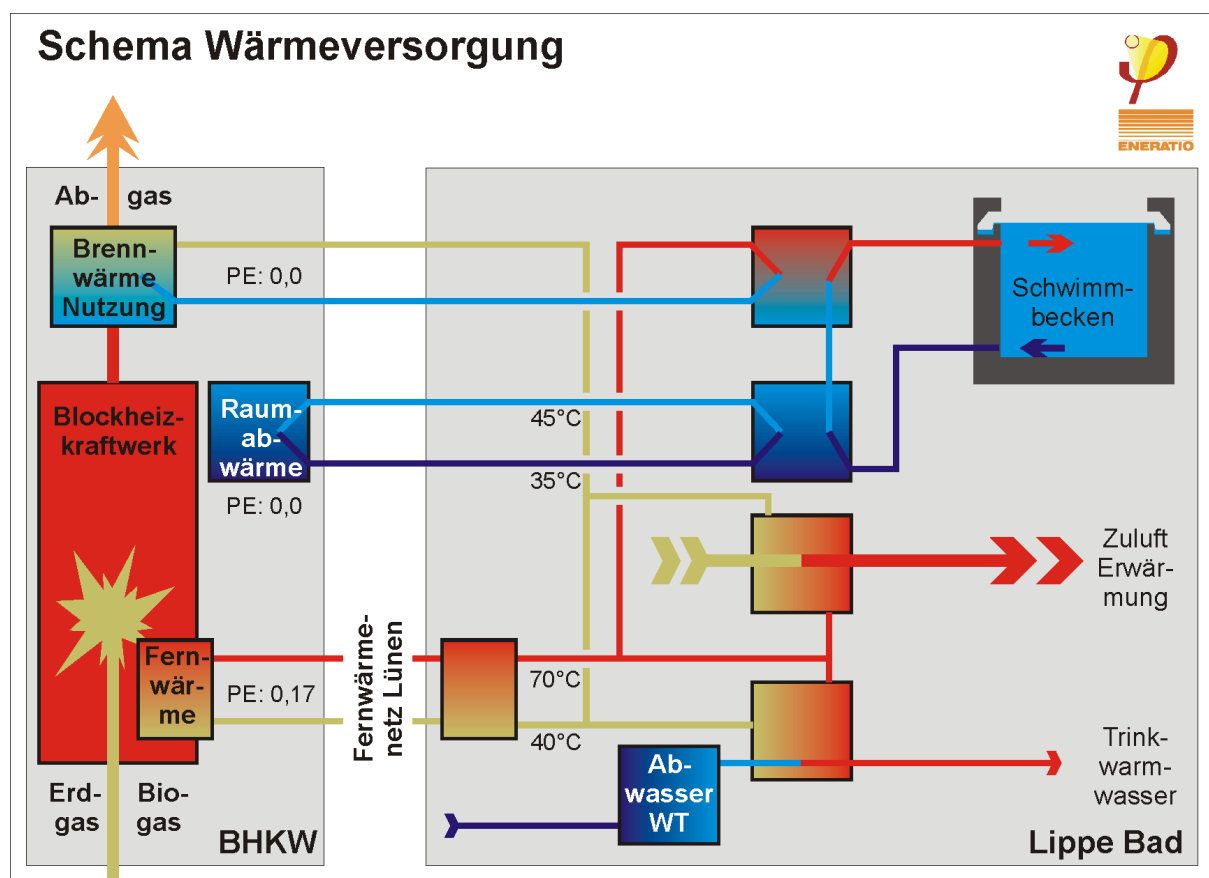


Abbildung 2: Schema der Wärmeversorgung über das Blockheizkraftwerk (Grafik: PHI)

Der Einsatz einer Ultrafiltrationsanlage erwies sich als eine wirtschaftliche Variante. Durch die bei der Ultrafiltration quasi kontinuierlich anfallenden Abspülwässer wird ein Wasserrecycling möglich (vgl. Abbildung 3). Ein großer Teil des Abspülwassers wird aufbereitet und als Beckenwasser wieder verwendet. Ein weiterer Teil substituiert Frischwasser für die Toilettenspülung. Sparsame Armaturen und WC- und Urinalspülungen sorgen für weitere Einsparungen, sodass eine Reduktion des Trinkwasserbedarfes von ca. 67% erwartet wird.

Es konnte festgestellt werden, dass die Verwendung von Passivhaus Technologien keine Mehraufwendungen im Bereich des Brandschutzes nach sich ziehen.

Durch ein durchdachtes und innovatives Reinigungskonzept, welches auch auf Erfahrungen des Betreibers beruht und tief in die Gestaltung des Gebäudes und die Anlagentechnik eingreift, werden erhebliche Betriebskosteneinsparungen, sowie Einsparungen von Wasser und Reinigungschemikalien erwartet. Durch das Konzept wird es möglich, Reinigungsarbeiten in größerem Umfang teils auch in die Schwachlast-Öffnungszeiten des Bades zu verlegen. Hierdurch wird, durch die Verringerung der Gesamtbetriebszeit, auch eine Verringerung des Energiebedarfes erreicht.

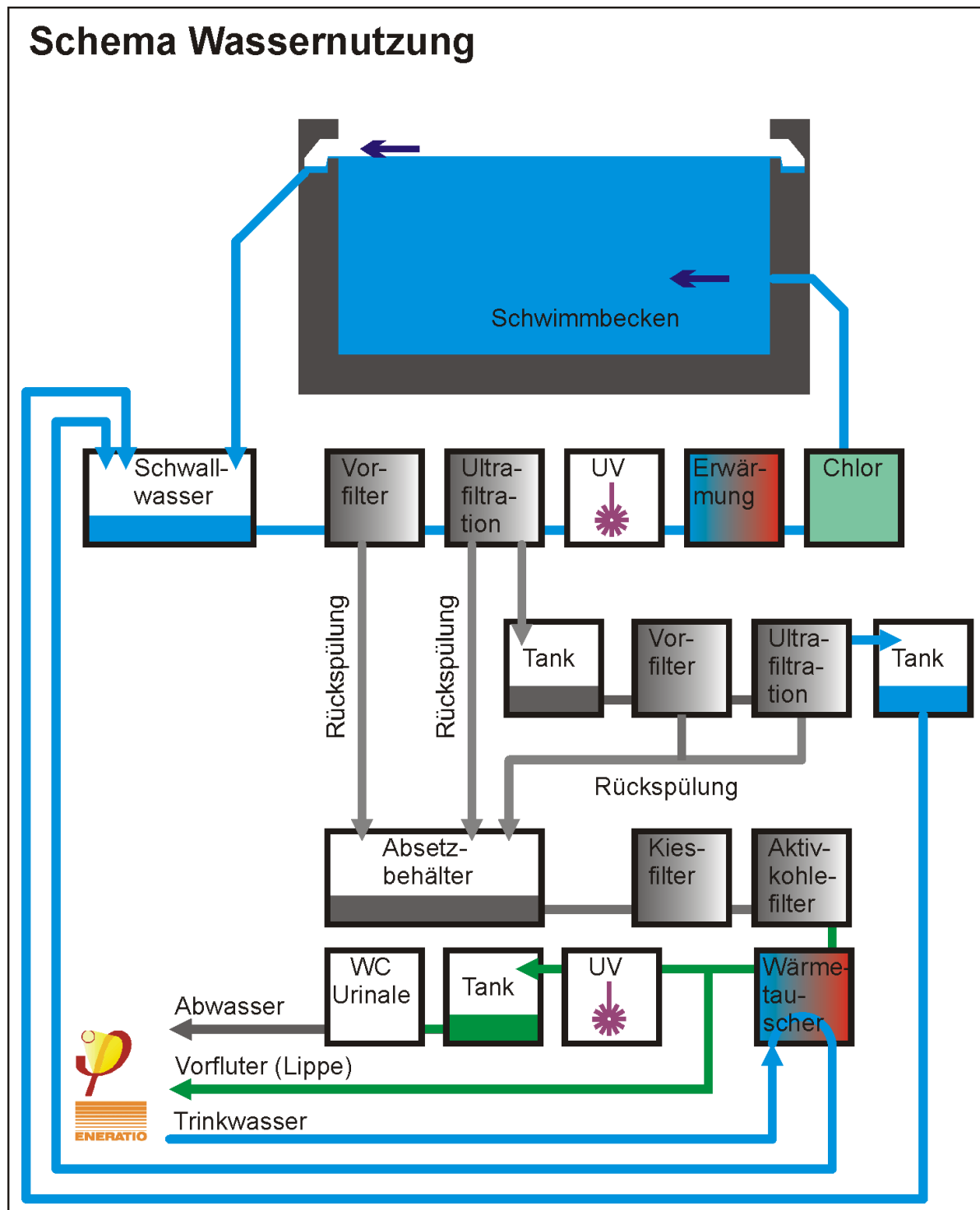


Abbildung 3: Schema zur Filtration und zum Wasserrecycling (Grafik: PHI)

Im integrierten Planungsprozess konnten über die jeweiligen Gewerkegrenzen hinweg vielfältige Ansätze zur Energie- und Wassereinsparung formuliert werden. Die Planung entwickelte sich dabei stets ideenreich. Durch die angestrebte Kooperation von Wissenschaft und Praxis im Team wurden innovative Lösungsansätze erreicht und handfest entwickelt. Jedes Mitglied im integrierten

Planungsteam hat dadurch gelernt und an neuem Wissen gewonnen. Dies kommt dem Gesamtprojekt eindeutig zu Gute.

In der bisherigen Bauausführung zeigt sich, dass Maßnahmen der Qualitätssicherung konsequent und permanent angewendet werden müssen. Viele routinierte Arbeitsabläufe der gängigen Baupraxis, über nahezu alle ausführenden Gewerke, entsprechen nicht der mit der Passivbauweise zwangsweise verbundenen Forderung nach Ausführungsqualität und Detailtreue.

Ein sehr detailliertes und transparentes Monitoring im Badbetrieb ist unverzichtbar. Erst dadurch können im Betrieb weitere Optimierungen vorgenommen und die gewählten Lösungsansätze qualifiziert werden. Besonderes Augenmerk muss dabei auf maßgebliche Bedingungen gelegt werden, wo der aktuell geltende Stand der Technik nicht dem Betriebsregime des Lippe Bads mit Passivhauskonzept entspricht.

Der Funktionsnachweis eines Hallenbades mit Passivhauskonzepten wird mit besonderem Interesse erwartet, wie die ständig zunehmenden Nachfragen zum Projekt Lippe Bad zeigen.

3 Einführung

3.1 Die integrale Planung als Projektgrundlage

Die integrale Planung eines Hallenbades ist sehr viel mehr als die Vorbereitung von Strategien zur Bedarfsminimierung für Wärme und Strom, denn auch der Einsatz und die Handhabung von Trinkwasser, von Chemikalien zur Wasseraufbereitung und Hygiene, sowie der anfallenden Abwassermengen wirken auf Betriebskosten und Umweltbedingungen. Weiter unabdingbarer Bestandteil ist die intensive Einbindung der im Badbetrieb erfahrenen Mitarbeiter/innen (Wissen und Erfahrung), um die zukünftigen Arbeitsbedingungen und Arbeitsgänge verbessert zu gestalten und durchgängig die nachhaltigen Qualitäten zu schaffen, die auch Einsparungen an Maintenance und Erneuerungsbedarf in Aussicht stellen.

Vor diesem Hintergrund wird klar, dass die Planungsphase für die Realisierung innovativer Konzeptideen von entscheidender Bedeutung ist. Eine auf umfassendem Wissen basierende und ideenreiche Planungsleistung mit Berücksichtigung der Beziehungen zwischen Architektur, Nutzungsqualität, Technikbedarf und Kosten ist unverzichtbar. Die Planung ist grundlegend entscheidend für den Projekterfolg und es bedarf Mehrleistung in einem integralen Planungsprozess, weil nur in der Planungsphase die Beeinflussbarkeit der Errichtungs- und Folgekosten umfassend gegeben ist.

Über die Betrachtung der Lebenszykluskosten eines Hallenbadprojektes lässt sich ableiten, dass Mehrleistungen für einen qualitativ hochwertigen Planungsprozess sehr wirtschaftlich sind, sofern damit nachhaltige Betriebskosteneinsparungen ohne Abstriche im Anforderungsprofil und an Nutzungsqualität erreicht werden. Während die Lebenszykluskosten im Durchschnitt unterschiedlicher Gebäudearten (von Wohnbau über Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser bis hin zu Schulen und Kindergärten) zu 20 % über die Investition und zu 80 % über die Betriebskosten bestimmt werden, liegen die Anteile für Hallenbäder bei rund 10 % Investition und 90 % Betriebskosten. Daraus folgt, dass in mittelgroßen Hallenbadprojekten (Investition 14 Mio. €, Nutzungsdauer 40 Jahre, jährliche Kostensteigerung 1,95 %, Rückbaukosten 0,6 Mio. €) mit 1 % Betriebskosteneinsparung um 1,3 Mio. € geringere Lebenszykluskosten erzielt werden. Weiter motivierend kommt hinzu, dass die Mehraufwendungen zum Erreichen energetisch wie funktional nachhaltig optimierter Neubauten in der Regel sehr risikoarme Investitionen für die Zukunft sind.

Der Innovationsansatz Passivhallenbad wurde über die Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im öffentlichen Hallenbad [PHI 2009] mit Erfordernissen und Lösungsansätzen weitreichend ausgearbeitet. Diese bildet das sehr konkrete Anforderungsprofil an die integrale Planung zur Vorbereitung der praktischen Umsetzung für das Lippe Bad in Lünen.

Die Hallenbadhülle nach Passivhausanforderungen ist der erste Baustein zur Energieeinsparung. Die Transmissionswärmeverluste werden so maßgeblich reduziert und höhere innere Oberflächentemperaturen stellen sich ein. Mit höheren inneren Oberflächentemperaturen der Außenbauteile wird der Grenzpunkt der Taupunktunterschreitung hin zu höherer Raumluftfeuchte verschoben. Das ist der zweite Baustein zur Energieeinsparung, denn mit steigender Raumluftfeuchte im Hallenbereich sinkt die Verdunstungsleistung des Beckenwassers, und ungeachtet weiterer Einflussfaktoren kann der erforderliche Luftwechsel und damit der Lüftungswärmeverlust gemindert werden. Aus diesem Zusammenhang heraus kann die Ausführung der Hallenbadhülle in Passivhausqualität als „Eintrittsentgelt“ angesehen werden, um weitere Einsparungen erschließen zu können. Der dritte große Baustein zur Energieeinsparung liegt in den Gebäude- und Verfahrenstechniken eines Hallenbades und es stellen sich sehr umfangreiche Planungsaufgaben, um funktionale Systeme mit günstigen Effizienzbedingungen herauszuarbeiten.

Was sind die Erfolg bestimmenden Kriterien im integralen Planungsprozess? Zur Beantwortung dieser Frage werden folgend die Bedingungen, Maßnahmen und Funktionen auf Basis der gewonnenen Erfahrungen im konkreten Prozess behandelt:

Bauherr

Der Bauherr muss die Entscheidung zur Umsetzung des Innovationsansatzes bei Minimierung der Lebenszykluskosten kompromisslos treffen. Nur mit dieser Grundlage ist er zweifellos von der Vorteilslage des integralen Planungsprozesses überzeugt und zur Gewährleistung zusätzlicher Rahmenbedingungen bereit (mehr an Planungszeit, Projekt-Teamarbeit, Planungsbudget). Aus der speziellen Situation heraus, weil hier der Bauherr nicht nur Errichter des Bauwerkes, sondern auch erfahrener Betreiber und Nutzer (Kursangebote) ist, ist er quasi zur Führung des Projektmanagements verpflichtet. Der Bauherr und seine im Betrieb erfahrenen Mitarbeiter/innen müssen das Anforderungsprofil (Nutzungskonzept, Pflichtenheft, besondere Detailansprüche) vorgeben und den in der Regel über mehrere Lösungsansätze zum Anforderungsprofil ablaufenden Planungsprozess mit Qualitäts- und Kostenbewertung bis zur Entscheidung für die Ausführungsvariante durchgängig begleiten. Dabei muss der Bauherr besonders darauf achten, dass keine Optimierungsmaßnahmen der Bestimmung des Gebäudes entgegenstehen, denn die Nutzer entscheiden aufgrund der wahrgenommenen Aufenthalts- und Nutzungsqualität, ob sie das Hallenbad wiederholt nutzen und auch zur Nutzung empfehlen werden. Im integralen Planungsprozess müssen darum begünstigende Bedingungen für Aufenthalts- und Nutzungsqualität ideenreich und funktional mit Ansätzen zur Einsparung (Energie, Wasser, Chemie, Reinigung, Betrieb) kombiniert werden.

Voraussetzungen zur engagierten Wahrnehmung dieser detailreichen Bauherrenfunktionen sind Erfahrungen im Projektmanagement, interdisziplinär technisches und wirtschaftliches Verständnis und adäquat bemessene Bearbeitungszeit.

Planungsteam und Projektorganisation

Um das Planungsteam geeignet auswählen zu können, sollten vorher der Zielkatalog (Hauptziele, erweiterte Zielstellungen) und die damit anstehenden Planungsaufgaben definiert sein. Im hier behandelten Projekt Passivhallenbad waren die Hauptziele durch die vorbereitende Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im öffentlichen Hallenbad [PHI 2009] sehr detailliert definiert. Erweiterte Zielstellungen ergaben sich über die Ansprüche an Energie und Wasser sparende Systeme für die im Hallenbad spezifische Verfahrenstechnik, die Barrierefreiheit und die erweiterten Ansprüche an eine verbesserte Raumakustik, an das Reinigungskonzept und die Betriebsführung.

Das Ziel im Planungsprozess ist nicht die Perfektion eines einzelnen Gewerkes, sondern die den komplexen Zielkatalog weitestgehend erfüllende Gestaltung des Gesamten, wozu variantenreiche Bewertungen und Abwägungen zu treffen sind. Dahinter steckt Teamarbeit. Im Team müssen von Anfang an alle Hauptgewerke

kompetent vertreten sein, wobei für gesonderte Details im laufenden Planungsprozess auch gesonderte Spezialisten zur Beratung und Feinabstimmung hinzugezogen werden sollten, sofern die spezielle Aufgabenbearbeitung nicht anforderungsgerecht von Mitgliedern des Kernteams geleistet werden kann. Diese Spezialisten können auch praktisch erfahrene Techniker von einschlägigen Fachunternehmen/Produktherstellern sein, zu deren Kernkompetenz die Bearbeitung der individuellen Detailfragen gehört (konkretes Beispiel: Bedingungen und Steuerungssysteme für Schiebetüren in öffentlichen Funktionsbereichen).

Um die Rahmenbedingungen für eine effektive Teamarbeit günstig zu gestalten, sollten möglichst wenig unterschiedliche Planer, aber so viele Fachleute wie nötig dem Team von Planungsbeginn an zugehören. Mit Blick auf die Technische Gebäudeausrüstung bedeutet dieser Grundsatz beispielsweise, eher ein in mehreren Sparten erfahrenes Planungsbüro einzubeziehen und nicht die Gewerke Sanitär-, Elektro-, Heizungs- und Lüftungstechnik durch jeweils unterschiedliche Büros bearbeiten zu lassen.

Es sind auch erweiterte Anforderungen an die einzelnen Teammitglieder zu stellen. An erster Stelle sollte klar sein, dass der Bauherr überdurchschnittliches Engagement zur Innovation von allen Teammitgliedern erwartet, zu dessen Leistung jedes Teammitglied bereit sein muss. Weiter sind als Eingangsvoraussetzungen von Jedem hohes Basiswissen, Kommunikationskompetenz und Detailinteresse bei hochwertiger Dienstleistungsqualität mitzubringen. Sofern der Bauherr nicht aus anderen Projekten/Erfahrungen heraus auf bewährte Planungsunternehmen zugreifen kann, sollte er auf Grundlage der Ansprüche an Teammitglieder mit einem Spektrum von Dienstleistungsunternehmen konkret sprechen und anhand von Referenzen, persönlichem Eindruck und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen neue Projektpartner auswählen.

Um die Planungsaufgaben im Rahmen von Qualität, Zeit und Kosten leisten zu können, müssen regelmäßige Teamsitzungen (z. B. anfangs wöchentlich, dann 14-tägig) vom Projektleiter (Bauherr) moderiert stattfinden. Im Gesamtprozess ist die Nutzung eines Planungs-Servers empfehlenswert, um allen Mitgliedern den digitalen Austausch von Unterlagen und Plänen einfach zu ermöglichen und gleichzeitig die Entwicklungsschritte/Planstände transparent zu dokumentieren. Über die einzelnen Fortschreibungen im Planungs-Server erhält der Bauherr so auch eine Übersicht zu den laufenden Aktivitäten und dem Vorgehen der einzelnen Fachplaner wie auch insgesamt.

Wichtige Aufgaben aller Planer sind, die Besonderheiten gegenüber herkömmlichen Gebäuden und technischen Lösungsansätzen bereits in der Ausschreibung reich an verständlichen Details zu vermitteln. Allen Fachplanern obliegt die besondere Aufgabe, mit Hilfe einer praktisch durchdachten detaillierten Planung und

Beschreibung (Qualitäten, Arbeitsgänge, besondere Maßnahmen) jedem Bieter seine konkreten Aufgaben und Leistungsbereiche zu vermitteln, damit dieser sein Angebot klar und aufwandsgerecht kalkulieren kann. Hierzu kann es förderlich sein, bereits bei der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen mit mehreren Fachfirmen entworfene Texte und Pläne zu beraten, um Unzulänglichkeiten oder Unklarheiten im Lösungsansatz und in der Leistungsbeschreibung auszuräumen. Es sollte auch im Planungsstadium bereits herausgearbeitet werden, bei welchen Arbeitsschritten und in welcher Art und Weise die ausführenden Firmen im Allgemeinen und im Speziellen zur Qualitätssicherung zu unterstützen und zu überwachen sind.

3.2 Projektbeschreibung

Im Rahmen eines Bäderkonzeptes für Lünen baut die Bädergesellschaft Lünen mbH ein zentrales Hallenbad an der Konrad-Adenauer-Straße. Die jährliche Besucherzahl für das neue Hallenbad wird mit rund 230.000 Besuchern prognostiziert. Das Bad ist konzipiert für den Sport und die Bewegung im Wasser.

Grundlegende Aspekte der Planung sind:

a) Reduzierung der Betriebskosten durch

- Errichtung des Neubaus und Ertüchtigung des Bestandsbaukörpers mit Passivhaus Komponenten

- hochwertig gedämmte, wärmebrückenminimierte Gebäudehülle
- hohe Güte der Gebäudehülle hinsichtlich der Luftdichtheit
- effiziente Anlagentechnik, günstige Hydraulik
- Einsatz erneuerbarer Energie

- Erhöhung der Luftfeuchte (dadurch Verringerung der Verdunstung und somit Energieeinsparung bei der Beckenwassererwärmung)

- Reduzierung des Energiebedarfs für künstliche Beleuchtung

- Wassermanagement

- Badewasseraufbereitung durch Ultrafiltrationsverfahren
- Rückspülwassernutzung

□ Wasser sparende Armaturen und Spülsysteme

- optimiertes Reinigungskonzept

b) Berücksichtigung der Belange von Menschen mit Behinderung durch

- baulich unterstützte Integration der gehandicapten Besucher in allen Bereichen (Verkehrsflächen/Türsysteme/ Umkleiden/ Sanitärbereiche)

- stufenlose Zugänglichkeit aller Besucherbereiche

- Planungsabstimmungen im Vorfeld mit Behindertenorganisationen

c) Behaglichkeit und Akustik

- Hohe innere Oberflächentemperaturen

- günstige Raumlufffeuchte (im Mittel ca. 64%)

- geringe Raumluffgeschwindigkeit

- ansprechende Material- und Farbgestaltung

- gute Raumakustik durch geringe Nachhallzeiten und Vermeidung von Flatterechos

3.3 Baurechtliche Grundlagen

Die planungsrechtliche Grundlage für das Bauvorhaben wurde durch den Vorhaben bezogenen Bebauungsplan Lünen Nr. 201 V+E (Teilabschnitt Lippe Bad), im September 2009 geschaffen.

Das Plangebiet wird als Fläche für den Gemeinbedarf ausgewiesen. Die Festsetzungen des Bebauungsplanes werden von der geplanten Bebauung eingehalten.

3.4 Optimierungen der Konzeptionen für einen ökologisch nachhaltigen und zukunftsorientierten Standort Lippe Bad Lünen

Die Stapelmann und Bramey AG wurde von der Bädergesellschaft Lünen mbH beauftragt, für das zukünftige Lippe Bad Lünen folgende Planungen zu erstellen:

□ Bauleitplanung,

- Freiraumgestaltung,
- Verkehrsplanung,
- Ver- und Entsorgungsplanung,
- Bauleitung Freiraumarchitektur, Verkehrs- und Erschließungsanlagen.

Die Stapelmann und Bramey AG leistet damit einen Beitrag zur Verwirklichung des wegweisenden und impulsgebenden Projektes „Lippe Bad Lünen“ mit Konzepten der Passivhaustechnologie.

Das Vorhaben wirkt auch als Initiator für die Entwicklung der ehemaligen Betriebsfläche des Heizwerkes Lünen, zu einem ökologisch nachhaltigen und zukunftsorientierten Standort. Die Gebietsentwicklung mit Kopplung von Wohnen, Wasser und Erholung ist ein Baustein zum Erreichen der städtebaulichen Ziele der Stadt Lünen.

Die Leitgedanken zum Passivhaus Hallenbad sind ausweitbar auf die Idee eines ökologisch hochwertigen Standortes. Um diese Vision zu realisieren, ist es notwendig, auch in der Ver- und Entsorgung, in der Verkehrsplanung sowie in der Freiraumgestaltung Qualitäten einzubringen, die dieser Idee Rechnung tragen.

Aus diesem Grund erfolgt die Abwasserentsorgung im Trennsystem. Das gesamte Oberflächenwasser der versiegelten Flächen sowie das abzuleitende Beckenwasser des Hallenbades werden vorab gereinigt über ein unterirdisches Regenrückhaltebecken gedrosselt in die Gebiets angrenzende Lippe eingeleitet. Lediglich das im Hallenbad anfallende Schmutzwasser wird dem kommunalen Mischwasserkanal und so der öffentlichen Kläranlage zugeführt, wo es mit vergleichsweise hohem Energieaufwand gereinigt werden muss.

Zukünftig reduziert zwar die mit dem Neubau des Lippe Bades einhergehende Oberflächenversiegelung die Grundwasserneubildungsrate in diesen Bereichen, dennoch sind die Oberflächenwässer nicht grundsätzlich für das Grundwasser in diesem Areal verloren, denn das auf den Verkehrs- und Dachflächen anfallende Niederschlagswasser und das nachbehandelte Beckenwasser des Hallenbades werden an einer ortsnahen Stelle über die Lippe dem Grundwasser wieder zugeführt.

Die Wärmeversorgung wird durch ein im Lippe Bad Lünen integriertes Biogas-BHKW und ein Erdgas-BHKW betrieben. Beide BHKWs werden mit nachgeschalteter Abgasbrennwertnutzung betrieben, wodurch die Effizienz deutlich verbessert wird. Zum Wärmeverbrauch des Lippe Bades überschüssig in Kraft-Wärmekopplung (KWK) produzierte Wärme wird stets in die Fernwärmeleitung der Stadt Lünen

eingespeist, und steht somit zur Bedarfsdeckung für viele andere Wärmeverbraucher der Stadt Lünen zur.

Im Bereich der Verkehrsplanung sind insbesondere Flächeneinsparungen sowie die Verringerung der Lärmentwicklung ausschlaggebend für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung am Standort. Ziel der Gesamtplanung ist auch die verbesserte Erreichbarkeit des Hallenbades (zentrale Lage) und des gesamten Lippedreiecks für den nicht motorisierten Individualverkehr, für den Öffentlichen Personennah-, Schul- und Sportverkehr. Damit wird der motorisierte Individualverkehr tendenziell reduziert. Damit geht ein reduzierter Anspruch für versiegelte Parkplatzanlagen (Anzahl der Stellplätze) und eine Verkehrslärminderung (weniger individuelle PKW An- und Abfahrten) einher. Letztere wird weiterhin durch die gelungene Konzentration der Verkehrsanlagen im nördlichen Bereich des Plangebietes reduziert. Dadurch wird das südliche sowie westliche Umfeld des Bades weitestgehend von Verkehrslärm frei gehalten, was die Erholungsfunktion des Gebietes fördert und insbesondere die Erhaltung und Entwicklung des Schutzgutes Fauna begünstigt.

Die Ökologie des Freiraums lebt insbesondere von der Behaglichkeit und diese v.a. vom Ortsbild, insbesondere von Plätzen, von Monumenten, von der Fernsicht. Das Monument ist das skulptural gestaltete Hallenbad in seiner Form und Funktion. Dem gegenüber wurde der Lippe-Bad-Platz konzipiert. Der ebene und weite Platz mit dem solitären Gebäude gilt als Basis und Fundament für das gesamte Areal Lippedreieck, mit seiner Funktion und Architektur als nachhaltiger Identifikations- und Orientierungspunkt, als neues Wahrzeichen, den Standort und somit die Stadt Lünen prägend. Der Platz selbst soll den Dreh- und Angelpunkt, das Zentrum, den Treffpunkt des gesamten Lippedreiecks darstellen.

Weitere Faktoren, die in der freiraumarchitektonischen Planung eine Rolle spielten, tragen zur Behaglichkeit, aber vor allem auch zur energiesparenden Funktion und Nutzung des Lippe Bades bei. Diese sind der Einbezug der Umgebung (Fluss Lippe und deren Deichlandschaft), die Nutzung der bestehenden Topografie und die Beleuchtung des Areals.

Um diese Merkmale zu vereinen war es notwendig, die Teilfläche des Lippe Bades von der Gesamtfläche Lippedreieck entkoppelt initiatorisch vorzubereiten. Dazu wurde von der Stapelmann und Bramey AG ein Vorhaben bezogener Bebauungsplan angefertigt, der folgende Planungsziele im Einzelnen beinhaltet und langfristig planungsrechtlich sichert:

- Ausgestaltung des städtebaulichen Zieles der Stadt Lünen,
- Ausformulierung der Randbereiche des Hauptdeiches der Lippe als Qualitätsmerkmal,

- Berücksichtigung der vorhandenen Grün- und Freiraumstrukturen,
- funktionelle Verkehrsanbindung,
- Maßnahmen zur Sicherung qualitätsvoller Architektur und zur Einbindung bestehender Architektur und
- Ausnutzung solarer- und regionaler Energie sowie Umweltwärme als Beitrag für eine nachhaltige und ökologische Integration des Hallenbades in die Stadt Lünen.

Mit dem Bauleitplan werden die funktionalen Anforderungen in herausragender Weise erfüllt und bauplanungsrechtliche Voraussetzungen für das Innovationsprojekt Passivhaus Hallenbad geschaffen.

3.5 Projektsteuerung

Auf Basis des durch die Bädergesellschaft Lünen vorgegebenen Raumprogrammes wurde im Jahre 2009 der Entwurf des Lippe Bades erarbeitet und mit dem Bauherrn und den beteiligten Gremien (Bäderbeirat, Schulausschuss, Behindertenbeirat) abgestimmt. Die Aufgabe der weiteren Planung bestand darin, dass Bad sowohl von der Gebäudehülle, als auch von der Technik den Vorgaben eines Passivhaus Standards anzupassen.

Für die Errichtung des Lippe Bades mit Komponenten der Passivhaustechnologie wurde der Weg über eine Generalunternehmung aufgrund der Komplexität nicht verfolgt. Die Vielfältigkeit der Details und die erforderliche Überwachung der Ausführungsqualitäten haben dazu beigetragen, am Projektstart bereits auf ein integriert arbeitendes Planungsteam, ergänzt über individuelle Fachbauleitungen zu setzen.

Mit Unterstützung des Passivhaus Instituts und der beteiligten Fachplaner wurden Bauteile und Details entwickelt, die den bauphysikalischen Anforderungen gerecht werden, die in einer Schwimmhallenatmosphäre vorhanden sind. Abbildung 4 zeigt ein Organigramm des Zusammenwirkens der Projektbeteiligten.

Im Rahmen der weiteren Ausführungsplanungen wurden teils Materialien gewählt, deren Nutzung in deutschen Schwimmhallen neuartig ist, die aber in Funktion und Optik wesentliche Vorteile versprechen. So werden im Beckenumgangsbereich Kunststoffbodenbeläge verwendet, die sowohl die erforderliche Rutschfestigkeit bieten, aber auch weitestgehend fugenlos verlegt werden können. Der hoch liegende Beckenkopf wird mit einer Sitzbank aus Mineralwerkstoff belegt. Ein geringer

Fugenanteil soll auch hier Schwachstellen vermeiden helfen und gleichzeitig günstige Hygienebedingungen gewährleisten.

Auf Basis der Ausführungsplanungen und den gewählten Materialien werden die Ausschreibungen europaweit im offenen Verfahren durchgeführt. Nach Prüfung der Angebote und Erarbeiten eines Vergabevorschlages erfolgt die Auftragserteilung durch die Bädergesellschaft Lünen. Abbildung 5 visualisiert den formalen Verfahrensablauf für Ausschreibung und Vergabe.

Im Zuge der Bauausführung werden zeitnah Budget und Kosten, sowie die angesetzten Bauzeiten und Meilensteine durch die Projektsteuerung überwacht. Abweichungen vom Planungssoll werden dem Bauherrn angezeigt und fristgerecht beseitigt. Durch 14-tägig anberaumte Projektbesprechungen erfolgt die Kontrolle der gesetzten Ziele. Hierbei ist auch der Bauherr intensiv eingebunden. Je nach Arbeitsprogramm werden die regelmäßigen Projektbesprechungen durch individuelle Sondertermine ergänzt. Auch hier ist der Bauherr detailliert beteiligt.

PROJEKTORGANISATION

EINZELPLANUNG LEISTUNGSPHASEN 1 BIS 9

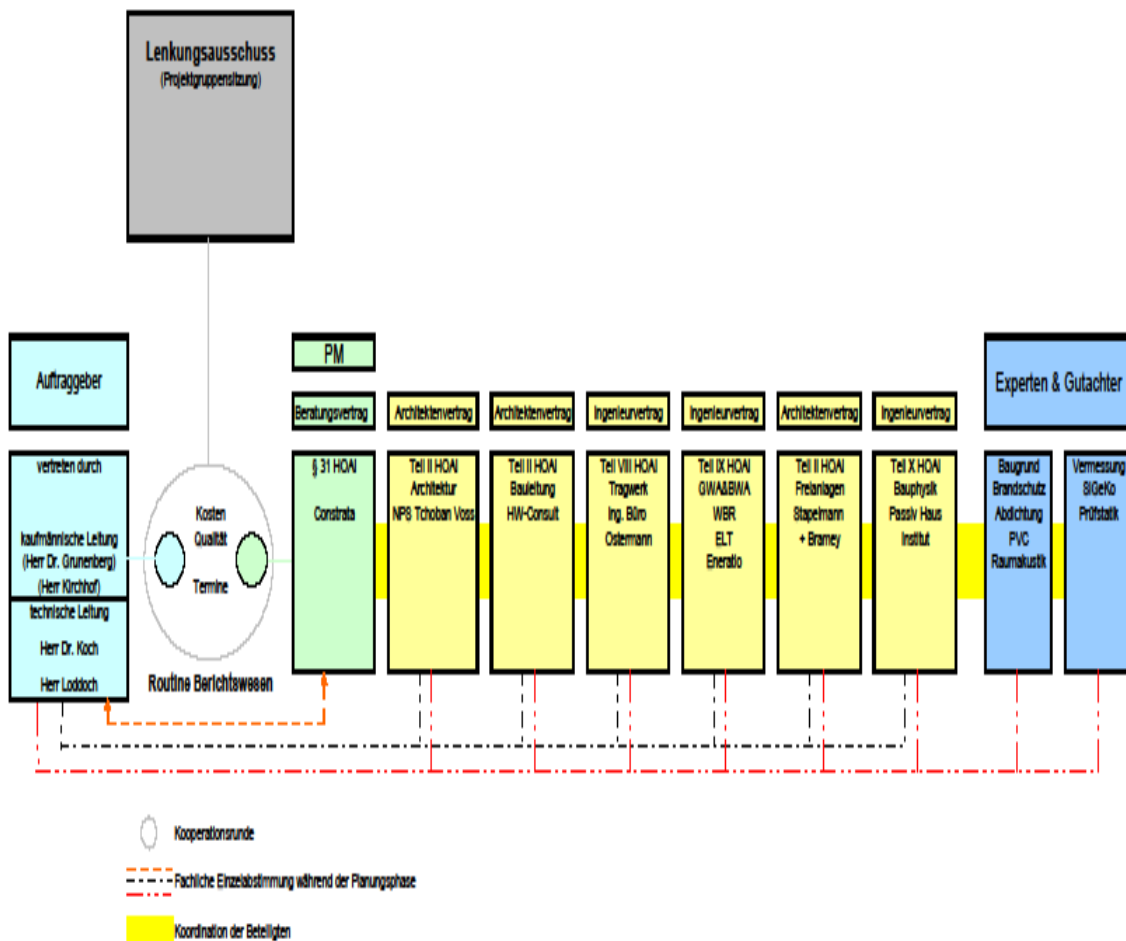


Abbildung 4: Projektorganisation. Grafik: Constrata.

Formaler Verfahrensablauf für die Ausschreibung und Vergabe (AV)



Grundlage: Offenes Verfahren

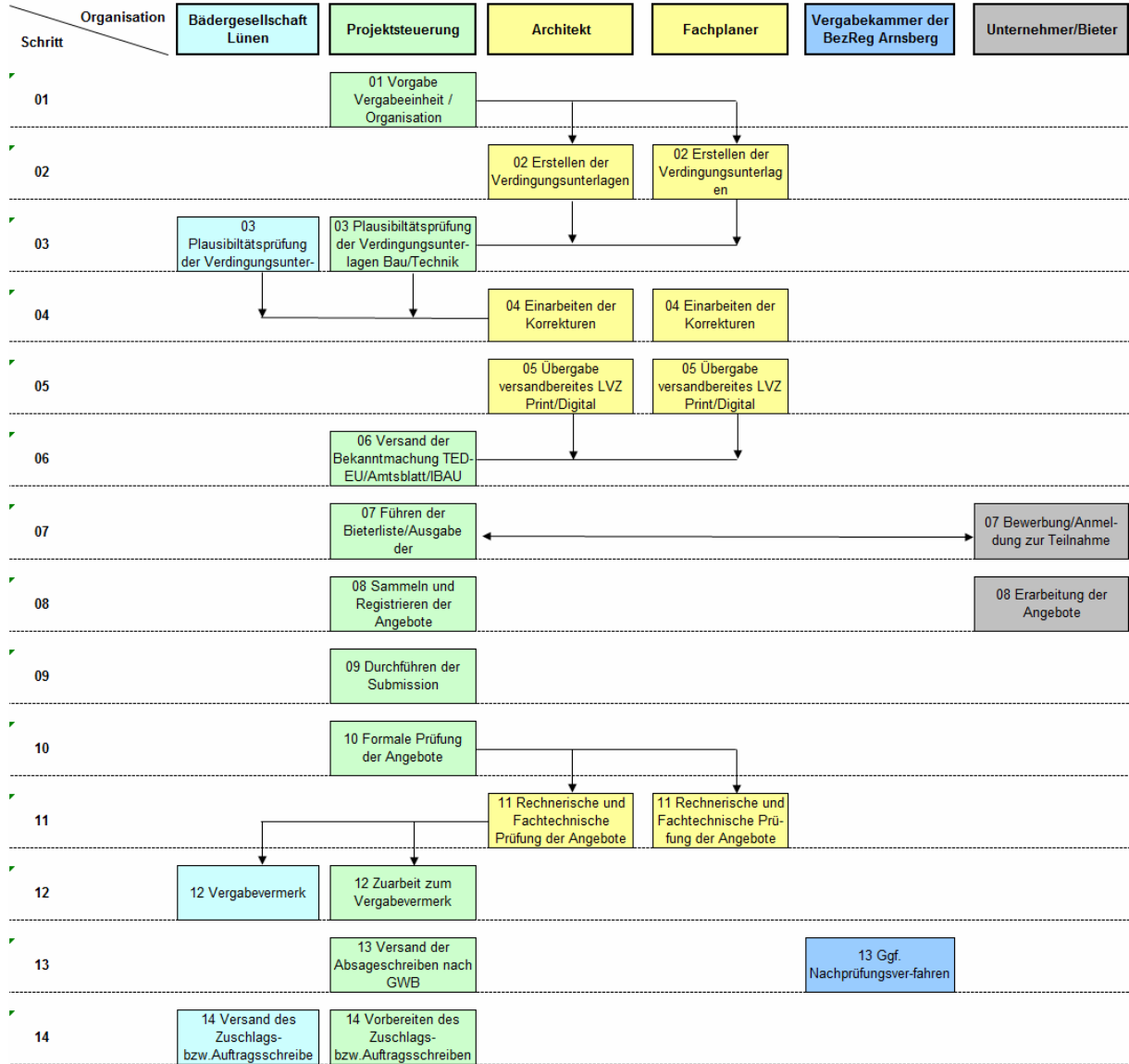


Abbildung 5: Verfahrensablauf Ausschreibung und Vergabe (Grafik: Constrata)

4 Gebäude

4.1 Baugrundstück

Das rund 17.500 m² umfassende Baugrundstück befindet sich in zentraler, innenstadtnaher Lage an der Lippe und ist im Besitz der Stadtwerke Lünen GmbH.

Das Grundstück ist mit einem heute nicht mehr genutzten Fernheizwerk (FHW) aus den 60er Jahren bebaut, vgl. Abbildung 6.

Innerhalb des FHW ist ein Schaltheis zur Verteilung von Elektroenergie integriert. Das Schaltheis bleibt mit Ausnahme der Fassadenerneuerung und der thermischen Entkopplung vom Rest des Gebäudes unverändert erhalten.

Die Höhenlage des zukünftigen Erdgeschossfertigfußbodens beträgt 52,05 m ü.NN. Der Höchstgrundwasserstand liegt bei 46,17 m ü.NN und damit unterhalb der geplanten Bauwerkssohle. Der 100-jährige Hochwasserstand ist mit 50,13 m ü.NN angegeben.



Abbildung 6: Baugrundstück an der Lippe mit Gebäudebestand (Quelle: npstv)

Die derzeitige Grundstückszufahrt des FHW über die Graf-Adolf-Straße wird durch eine neue Hauptzufahrt zum Neubau über die Konrad-Adenauer-Straße ergänzt.

Für die Verkehrserschließung über die Konrad-Adenauer-Straße werden Um- und Ausbaumaßnahmen im Rahmen der öffentlichen Erschließung erforderlich.

Auf dem Vorplatz des Grundstücks wird eine Wendeschleife für den Schulbusverkehr errichtet. Die Schleppkurve berücksichtigt auch die Nutzung von Schubgelenkbussen.

81 von der Bädergesellschaft bewirtschaftete Stellplätze, sieben Kurzparker-Stellplätze und eine Fahrradabstellanlage werden auf dem nördlichen Teil des Grundstückes errichtet. Hier befindet sich auch der Anlieferhof für Warenverkehr und die Abfallentsorgung.

Der Löschwasserbedarf wird über Hydranten auf dem Grundstück und im öffentlichen Bereich sichergestellt.

Die Medienversorgung (Strom/Wasser/Telekommunikation/Fernwärme) erfolgt über Versorgungsnetze der Stadtwerke Lünen. Die Schmutzwasserentsorgung erfolgt über die öffentliche Schmutzwasserkanalisation. Niederschlagswasser und vorgereinigtes Beckenwasser werden über ein Regenrückhaltebecken gedrosselt in die Lippe eingeleitet.



Abbildung 7: Plan der Außenanlagen des künftigen Hallenbades (Quelle: npstv, ergänzt: PHI)

4.2 Baukörper- und Bereichsgliederung

Der Baukörper gliedert sich in drei Teilbereiche (vgl. Abbildung 4): Neubauteil (BGF ca. 5.000 m², einschließlich Untergeschoss), ehemaliges Fernheizwerk der Stadtwerke Lünen (FHW, BGF ca. 2.100 m², welches durch Abriss- und Umbaumaßnahmen Teil des neuen Hallenbades wird), sowie das im FHW integrierte Schalthaus (welches im Zuge der Umbaumaßnahmen lediglich eine neue Fassade erhält und nicht Gegenstand dieses Berichtes ist). Die Oberkante Rohbetonboden im Erdgeschoss ist mit +51.85m ü. NN festgesetzt.

Alle für die Badegäste bestimmten Bereiche erfüllen die baulichen Anforderungen gem. §55 BauO NRW und werden den Erfordernissen an barrierefreies Bauen gem. DIN 18024-1 und DIN 18024-2 ausgestattet.



Abbildung 8: Arbeitsmodell des Bades, Stand Dezember 2008 (Quelle: npstv)

Das Raumprogramm, basierend auf den KOK-Richtlinien für den Bäderbau, stellt sich wie folgt dar:

Erdgeschoss

Eingangsbereich:

Ein großzügiges Vordach, eine vollverglaste Windfanganlage sowie das Foyer mit Tresen für Information und mit Personal gestützten Kassenautomaten bilden einen einladenden Eingangsbereich. Eine bestuhlte Verweilfläche mit Blickbeziehung zum Badbereich ist weiterer Bestandteil des Eingangsbereiches. Hier ist der Verzehr von Snacks und Getränken aus Automaten möglich.



Abbildung 9: Perspektive Eingangsbereich (Quelle: npstv)

Umkleide-/ Sanitärbereich:

Trennung in Sammelumkleidebereich für Schul- und Vereinssport und Einzelumkleidebereich für Individualbadegäste. Durch die Trennung der Umkleidebereiche und die Schaffung eines zentralen Zu-/Ausganges in den Beckenbereich wird eine von Schul-/Vereinssportveranstaltungen ungestörte Nutzung des Erholungsbereiches für Individualgäste und Familien erreicht. Dachoberlichter ermöglichen neben Fassadenfensteröffnungen eine gute Tageslichtversorgung.

Der Beckenzugang erfolgt über die Duschanlagen. Die Toilettenräume werden über die Duschräume betreten. Fönplätze können vor Verlassen des Bades genutzt werden.

Beckenbereiche:

Die solehaltigen Wasserflächen von insgesamt ca. 830 m² gliedern sich wie folgt:

Sportbecken 1: 4-Bahnenbecken 25 x 10m, im Sprungbereich mit 3m-
 Plattform und 1m- Brett, max. Wassertiefe bis 3,50m

Sportbecken 2 (im FHW): 5-Bahnenbecken 25 x 12,50 m, Wassertiefe 1,80m

Lehrschwimmbecken:	Becken mit Hubboden (10 x 10 m), Wassertiefe von 0,00 bis 1,60m
Warmwasserbecken:	Erholungsbecken (ca. 130 m ²), max. Wassertiefe 1,35m
Eltern-Kind-Becken:	abgetrennter, ca. 35 m ² großer Teil des Warmwasserbeckens mit max. Wassertiefe von 0,30 m

Das Warmbecken und das Eltern-Kind-Becken wird in einem kombinierten Becken dargeboten (Wasserfläche 167 m²).

Die Beckenköpfe sind rund 50 cm über den Beckenumgängen angeordnet und können als Sitzfläche genutzt werden.

Dem Erholungsbecken ist ein Bereich für die Aufstellung von Liegen angegliedert.

Die Beckenbereiche werden teilweise aufgrund unterschiedlicher Raumklimazonen und aus akustischen Gründen durch Glaswände räumlich getrennt. Eine sehr gute Raumakustik wird durch großflächige Wand- und Deckenakustikpaneele ermöglicht.

Eine bestuhlte Verweilfläche am Eltern-Kind-Becken mit Blickbeziehung zum Foyer ist weiterer Bestandteil des Beckenbereiches. Hier ist der Verzehr von Snacks und Getränken aus Automaten möglich.

Der Schwimmmeister erhält eine zentrale, erhöhte Aufsichtsposition in einem räumlich, klimatisch und akustisch separierten Raum. Eine direkte Verbindung zu den Technikräumen des Untergeschosses ist durch eine Treppenanbindung gegeben.

Ein Erste-Hilfe-Raum mit sowohl direkter Beckenanbindung als auch Anbindung an die rückwärtige Anlieferzone ermöglicht kürzeste Rettungswege außerhalb des allgemeinen Besucherverkehrs.

Großflächige Fassadenöffnungen (teilweise mit RWA-Funktion) sorgen in Kombination mit Oberlichtbändern für eine optimierte Tageslichtversorgung.

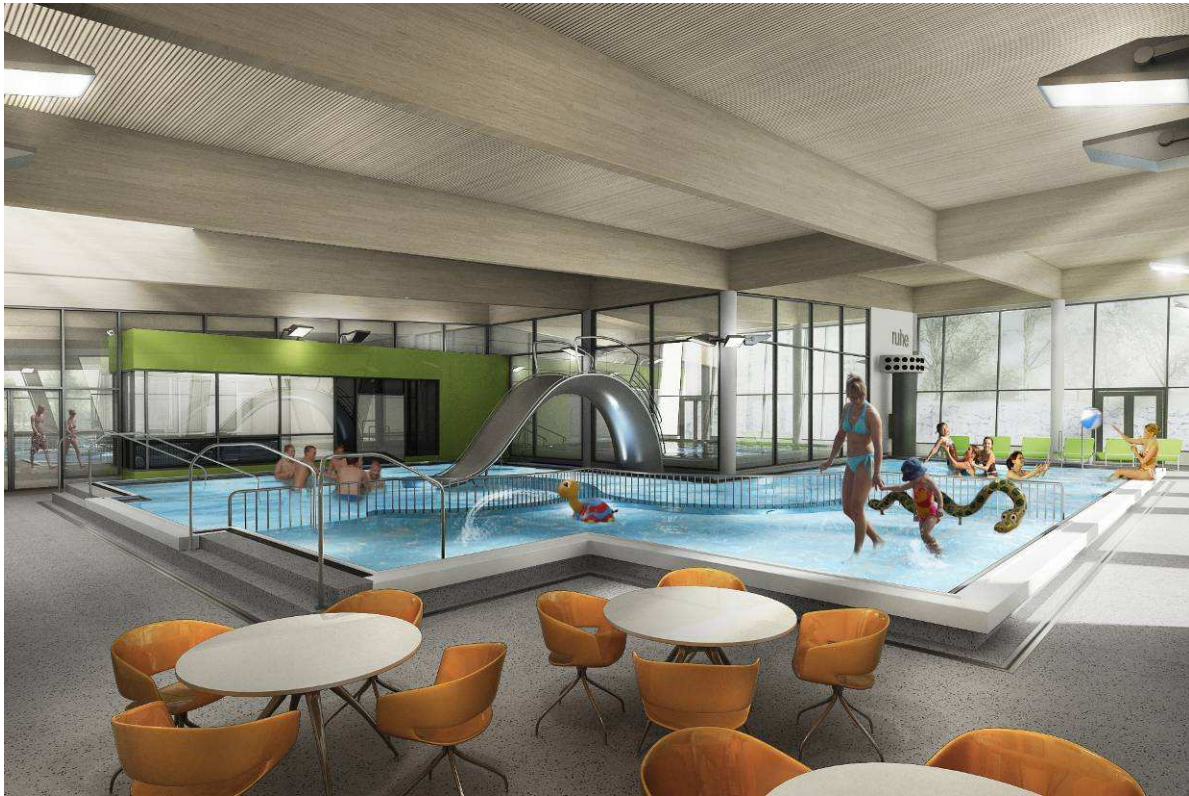


Abbildung 10: Perspektive Eltern-Kind-Becken mit Erholungsbereich (Quelle: npstv)

Untergeschoss:

Für die umfangreichen technischen Installationen wird der komplette Neubau mit Ausnahme des Foyerbereiches unterkellert. Die lichte Höhe im Untergeschoß beträgt 3.00 m.

Die Personalbereiche (Umkleide-/Sanitär-/Pausenraum) befinden sich im Untergeschoss. Sie sind über den Personaleingang an der Nordfassade direkt zu erreichen. Der Pausenraum wird über ein Souterrainfenster mit Tageslicht versorgt.

Die Hausanschlüsse (Fernwärme/Wasser/Elektro/Telekommunikation) befinden sich ebenfalls im Untergeschoss.

Ein Aufzug im Anlieferungsbereich ermöglicht den Transport schwerer Lasten zwischen Erd- und Kellergeschoss.

1.-3. Obergeschoss FHW:

Die früheren Nebenräume des ehemaligen FHW werden durch Integration in die Umbaumaßnahmen Teil der Passivhaushülle (Fassadendämmung, neue Fensterelemente, innere Teilbereichsdämmung zur entstehenden Schwimmhalle (Becken 2)).

4.3 Statisches Konzept

4.3.1 Bestandsgebäude, ehemaliges Fernheizwerk

Der Bestandsbau Fernheizwerk ist ein Industriebau in Stahlbeton-Skelettbauweise, der für die Kraftwerke und Anlagen der Fernwärmeversorgung Lünen Ende der 60er Jahre errichtet wurde. Der Bestand setzt sich aus einem siebenachsigen Hallenbau und einem seitlich angesetzten Achsenfeld mit Verwaltungs- und Sozialräumen zusammen.

In den Nord-Süd Achsen verlaufen Stahlbeton-Dachbinder. Diese sind schlaff bewehrt mit zur Mitte hin ansteigenden Obergurten ausgeführt. Sie tragen eine aus Siporex-Platten, Korkdämmung und Abklebung bestehenden Dachaufbau.

Zur Aussteifung des Gebäudes sind auf Höhe des 2. und 3. OG Randunterzüge angeordnet, die die Außenstützen miteinander verbinden, welche wiederum biegesteif in die Bodenplatte eingebunden sind (System: Kragstütze ab OK Sohle bzw. Kellerdecke).

Im Verwaltungstrakt sind die Deckenaufleger teilweise als Unterzug, teilweise als tragende Mauerwerkswand ausgeführt worden.

Die komplette Konstruktion ist auf einer Bodenplatte mit angeschlossenen Bohrpfählen gegründet.

In der ehemaligen Kesselhalle sind sämtliche Anlagen der Fernwärmeerzeugung entfernt worden. Im ehemaligen Kohlebunker-Bereich sind ebenfalls alle Einbauten entfernt worden. Die Decken sind als Stahlbetondecken ausgeführt.

Für die neue Nutzung wurde die Stahlbetondecke über dem Kelergeschoss im Bereich der ehemaligen Kesselhalle für den Einbau eines Schwimmbeckens nahezu komplett entfernt. Da die Stahlbetonsohleplatte auf Pfählen gegründet ist und ungedämmt war, wurde entschieden, eine druckfeste Dämmung auf die Bodenplatte aufzubringen und darauf mit Einzelfundamenten eine gleichmäßige Druckverteilung zu erwirken. Hierbei wurde Glasschaumdämmung (Foamglas) gewählt, da bei dieser praktisch keine Stauchung bzw. Setzung zu erwarten ist.

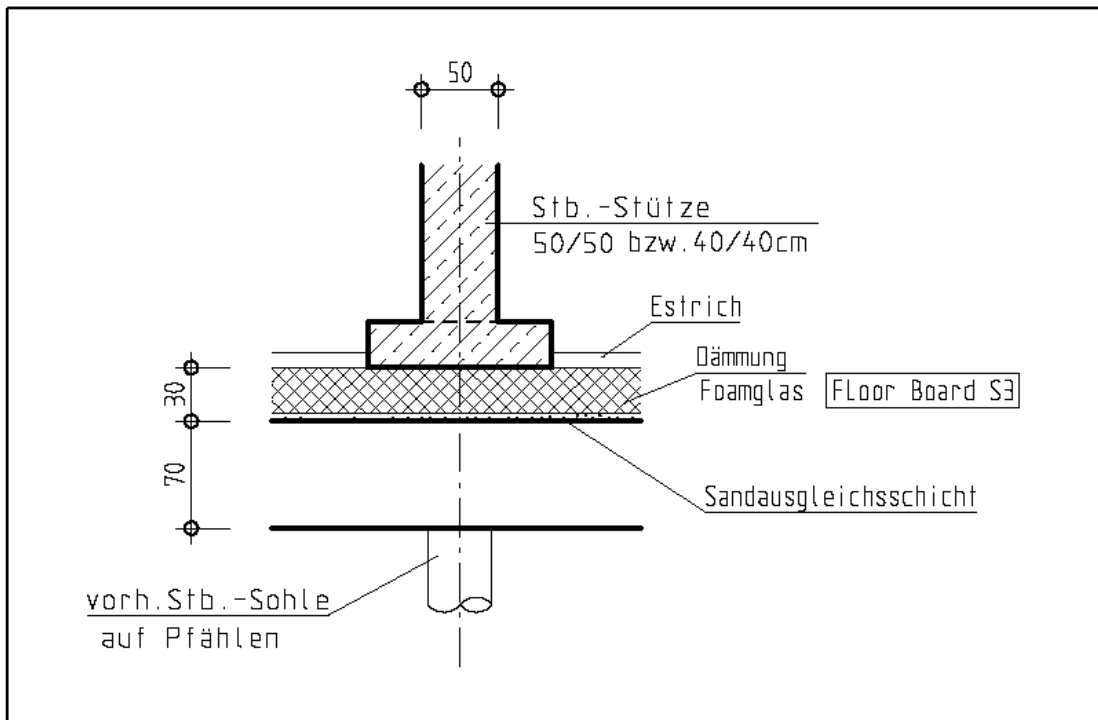


Abbildung 11: Systemdetail Auflager Becken auf Schaumglas im Bestand (Quelle: Ostermann)

Die gesamte bestehende Betonkonstruktion wie Stützen, Decke und Binder wurden von einem Sachverständigen bezüglich der vorhandenen Widerstandsfähigkeit der Schwimmbadatmosphäre beurteilt und es wurden Sanierungsvorschläge für die Oberflächen erarbeitet.

Im Dachbereich erfolgte ein Abbau der vorhandenen Leichtbetonplatten samt Abdichtung, jedoch mit Erhalt der Stahlbetonbinder, zugunsten einer neuen Tragkonstruktion aus Holzelementen mit Wärmedämmung analog zum Neubauteil.

Der Übergang vom Altbau zum Neubau wurde konsequent mit einer Bauwerksfuge von der Gründung bis zum Dach ausgeführt und im Bereich der weißen Wanne im Kellergeschoss gegen drückendes Wasser mit Dichtbändern abgedichtet.

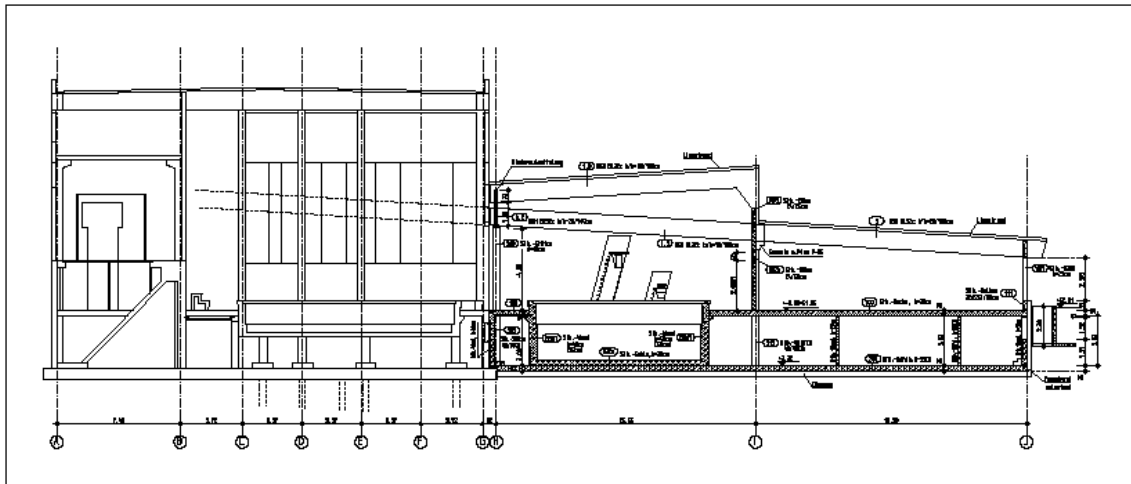


Abbildung 12: Querschnitt durch Alt- und Neubau (Quelle: Ostermann)

4.3.2 Neubauteil

Für den Neubau wurde eine Massivbauweise in überwiegender Betonkonstruktion gewählt.

Die Aussteifung des Gebäudes erfolgt über die in der Kellerwand eingespannten 24 cm starken auskragenden Wandscheiben des Erdgeschosses. Mit dieser Variante wurden aufwändige Dachverbände und deren Anschlüsse vermieden, da die Windlast sofort an der Außenfläche abgeleitet wird.

Als Dachkonstruktion wurden Brettschichtholz binder $b/d = 20/108$ cm im Achsraster von 5,00 m und Spannweiten von 16,0 m mit Lignotrend-Dachelementen gewählt. Diese Ausführung hat den Vorteil, dass man die Dachelemente über 3 Felder zügig verlegen kann und die Kipphalterung der Binder über diese Dachscheibe gewährleistet wird.

Das Erdgeschoß besteht größtenteils aus Umfassungswänden aus Stahlbeton und innen angeordneten Stahlbetonrundstützen, die die Dachkonstruktion tragen.

Da mit einem Hochwasserstand der angrenzenden Lippe zu rechnen ist, wurde die Sohlplatte als Weiße Wanne mit erhöhter Bewehrung zur Rissbeschränkung ausgeführt. Die Ausführung der Kellerwände erfolgte als 3-fach Wand mit Ortbetonergänzung und ist ebenfalls wasserdicht ausgebildet.

Um die Passivhaushülle nahezu ungestört zu belassen und Wärmebrücken zu vermeiden, werden der Entrauchungsschacht und die Lichtschächte als eigenständige Bauwerke vor die Dämmhülle der Kelleraußenwand im Erdreich gestellt. Genauso wird das Vordach in Stahlbauweise vor dem Eingangsfoyer als eigenständiges Stahl-Rahmen-Tragwerk mit einer Fuge vor das Passivhaus gebaut.

4.4 Farbliche Gestaltung der Außenbauteile

- Wände grau, teilweise mit weiß gefassten Fensterelementen
- Türen grau
- Vordach Hauptzugang weiß
- Glas-Pfosten-Riegel-Fassade, Fenster: 3-Scheiben-Wärmeschutz-Isolierverglasung, Abdeckleisten/ Fensterbänke/ Beschläge silber/grau
- Dach hellgrau, teilweise mit aufgeständerten Photovoltaikmodulen
- Stahlgeländer feuerverzinkt
- Zu-/Fortluftschächte Edelstahl, silbergrau

4.5 Bauteilkonstruktionen Gebäudehülle

Alle Bauteilkonstruktionen wurden in Zusammenarbeit bzw. gemäß den Vorgaben des Passivhausinstitutes Darmstadt definiert. Der Bestandsbaukörper Fernheizwerk wird Teil der Passivhülle.

Die gesamte Gebäudehülle wird im Detail luftdicht geplant. Die Ausführung wird während der Bauzeit überwacht und durch Luftdichtigkeitsmessungen kontrolliert.

Das solehaltige Beckenwasser impliziert die Verwendung korrosionsbeständiger Montage-/Befestigungsmittel aus Edelstahlwerkstoffen (V4A) und Aluminium.

Berücksichtigt werden 64% Luftfeuchtigkeit während der Betriebszeiten sowie eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit auf bis zu 80% während der Nacht.

4.5.1 Boden gegen Erdreich

a) gewählter **Aufbau Sohle Neubau** (von innen nach außen):

- WU-Beton (300 mm)
- Trennlage PE-Folie
- XPS-Perimeterdämmung (WLK 041, 320 mm)
- Sauberkeitsschicht
- Wärmedurchgangskoeffizient: 0,12 W/(m²K)

Entscheidungsfindung:

XPS-Dämmung:

- als durchgehende Dämmung auch bei hoher Druckbelastung (Becken) möglich.
- durch gewählte Flachgründung einfache und fugenlose Verlegung möglich
- wirtschaftliche Lösung

b) gewählter **Aufbau Sohle Bestand** (von innen nach außen):

- Zementestrich (100 mm)
- Trennlage PE-Folie
- Abdichtung
- Schaumglasdämmung (300 mm, WLK 040)
- Sandausgleichsschicht
- Stahlbetonsohle Bestand (600 mm)
- Wärmedurchgangskoeffizient: 0,12 W/(m²K)

Entscheidungsfindung:

Schaumglasdämmung:

- Kombination von höchster Druckfestigkeit und Wärmedämmung,
- dampfdichte Ausführung und Nichtbrennbarkeit bringt hier Vorteile gegenüber Hartschaumdämmstoffen
- dadurch Vermeidung von Durchdringungen der Passivhülle durch Neubauteile möglich

4.5.2 Außenwand gegen Erdreich

Gewählter **Aufbau Außenwand UG** (von innen nach außen):

- WU-Beton (300 mm)
- XPS-Perimeterdämmung verklebt (300 mm, WLK 041)
- Wärmedurchgangskoeffizient: 0,13 W/(m²K)

Entscheidungsfindung:

- wie unter 4.5.1 a)

4.5.3 Außenwand gegen Außenluft

a) gewählter **Fassadenaufbau Neubau** (von innen nach außen):

- Kalkzementputz mit Anstrich
- massive Außenwand (Mauerwerk/ Stahlbeton), teilweise tragend, 250 mm
- Wärmedämmverbundsystem aus EPS-Hartschaum, WLK 035, 300 mm stark, Schichtenaufbau gem. Zulassung des Herstellers, geklebte Montage
- abgestimmtes Anstrichsystem mit evtl. Zusatzbeschichtungen (imprägnierend, fungizid etc.)
- Wärmedurchgangskoeffizient: 0,11 W/(m²K)

Entscheidungsfindung:

- WDVS:
 - Bewährte Gebäudedämmung mit bestmöglicher Reduzierung von Wärmebrücken durch geklebte Ausführung = Vorteil gegenüber vorgehängter Fassade mit notwendiger Unterkonstruktion
 - gute Dämmwerte und weitestgehend wärmebrückenfreie Konstruktionen sind wirtschaftlich darzubieten
- Innenputz:
 - Hohe dampfbremsende Wirkung und damit Schutz des Wandaufbaus vor Kondensatschäden
 - Gesamtwandaufbau von innen nach außen zunehmend diffusionsoffen

b) gewählter **Fassadenaufbau Bestand** (von innen nach außen):

- Zementputz (Bestand)
- tragende Massivaußenwand (Bestand)
- Wärmedämmverbundsystem aus EPS-Hartschaum, , WLK 035, 300 mm stark, Schichtenaufbau gem. Zulassung Hersteller, geklebt
- abgestimmtes Anstrichsystem mit evtl. Zusatzbeschichtungen (imprägnierend, fungizid etc.)
- Wärmedurchgangskoeffizient: 0,11 W/(m²K)

Entscheidungsfindung:

- wie vorhergehend

4.5.4 Dächer gegen Außenluft

a) gewählter **Dachaufbau Neubau** (von innen nach außen): :

- tragende Dachbinder (5m-Raster) gem. Statik aus Brettschichtholz in F30-Qualität
- Holzkastenfertigelemente aus Brettschichtholz gem. Statik mit unterseitig integriertem Holzakustikabsorber in F30-Qualität
- Notabdichtung (bituminöse Dichtungsbahn)
- Dampfsperre
- Wärmedämmung (EPS-Hartschaum), WLK 035, 300 mm Stärke. 2-lagig mit versetzten Stößen verklebte Ausführung
- Kunststoffdachdichtungsbahn, Verklebung
- Wärmedurchgangskoeffizient: 0,11 W/(m²K)
- Entwässerung über vorgehängte Rinnen und Fallrohre

Entscheidungsfindung:

- Tragkonstruktion aus Holzbauteilen (nachwachsender Rohstoff), der die Kombination aus Brandschutzanforderungen und hoher Korrosionsbeständigkeit erfüllt
- 6% Dachneigung für dauerhaft sichere Entwässerung und Vermeidung von Langzeitschäden durch stehendes Wasser

- Warmdachausführung als geklebtes System zur Vermeidung von Wärmebrücken durch mechanische Befestigungen; nur in Randbereichen sind punktuell mechanische Zusatzbefestigungen notwendig
- Verwendung von EPS- (alternativ PUR) Dämmstoffen mit sehr guter Dämmeigenschaft bei geringem Gewicht
- Dachstatik ermöglicht die Montage von Aufdach-Photovoltaiksystemen
- Vermeidung von Dachdurchdringungen der Technischen Gebäudeausrüstung (Vermeidung zusätzlicher Wärmebrücken)

b) gewählter **Dachaufbau Bestand** (von innen nach außen):

- wie vor, jedoch auf Bestandsdachbinder aus Stahlbeton
- Wärmedurchgangskoeffizient: $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Entscheidungsfindung:

- Ersatz des gering gedämmten Bestandsaufbaus durch einen Passivhaus gerechten Dachaufbau
- statische Berücksichtigung der Montageoption von wärmebrückenfrei aufgeständerten Photovoltaikmodulen
- sonst wie vor

4.5.5 Fenster und Glasfassaden

Fenstern kommt in Passivhäusern eine besondere Bedeutung zu. Einerseits bilden sie die thermische Schwachstelle der Gebäudehülle (mit ca. $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ haben die Fenster den höchsten Wärmedurchgangskoeffizienten und im Bereich des Randverbundes treten die geringsten Innenoberflächentemperaturen auf) und andererseits werden aber transparente Bauteile benötigt, um die Sichtverbindung nach Außen, die Tageslichteinbringung und die Nutzung solare Gewinne zu realisieren.

Wärmedurchgangs- und Wärmebrückenverlustkoeffizienten der Rahmen

In Absprache mit den Projektbeteiligten wurden die folgenden Qualitäten für Fenster und Pfosten-Riegel-Fassaden festgelegt.

- Holz-Pfosten-Riegelfassade aus Lärche, lasiert, außen Aluminium-Deckleisten

- Randverbund aus Kunststoffleisten
- 3-fach-Wärmeschutzisolierverglasung mit Edelgasfüllung
- Sicherheitsverglasung
- mit integrierter Sitzbankausbildung der unteren Fensterbank
- Außentüren als Holzrahmentüren im Passivhausstandard
- notwendige RWA-Öffnungen als hochwertig gedämmte Fensterelemente mit Zustimmung im Einzelfall

Entscheidungsfindung:

- in Abstimmung mit dem Passivhausinstitut festgelegtes System
- U- Werte um 0,7-0,8 möglich
- Vorteile gegenüber einer Alu-Konstruktion bezügl. Dämmeigenschaften
- zusätzl. Metall-Wärmeleitblech gem. Vorgabe PHI am Randverbund
- Verwendung nachwachsender Rohstoffe

Zum Einsatz wird die vom Passivhaus-Institut zertifizierte Pfosten-Riegel-Fassade Therm+ 50 h-v der Firma Raico kommen. Die Fassade wird durch höhere Glasstärken und den Abstandhalter Super Spacer Tri-Seal der Firma Edgetec gegenüber der zertifizierten Variante thermisch nochmals aufgewertet.

Tabelle 1 zeigt die thermischen Qualitäten der Fenster und Pfosten-Riegel-Fassaden entsprechend dem Planungsstand. Die Werte wurden vom PHI in Anlehnung an die DIN EN ISO 10077-2 ermittelt. Diese Norm sieht Randbedingungen von -10°C außen und 20°C innen vor. Diese Randbedingungen wurden, abweichend von den tatsächlichen Temperaturen im Bad übernommen. Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die Berechnungsmodelle und Isothermengrafiken der berechneten Konstruktionen.

Tabelle 1: Thermische Qualitäten der verwendeten Fenster und Pfosten-Riegel-Fassaden

Nr.	Rahmen	Wärme- durchgangs- koeffizient U [W/(m²K)]	Rahmen- ansichts- breite b [m]	Wämebrückenverlust- koeffizient (Glasrand) □ [W/(mK)]
1	Pfosten in der Halle	0,95	0,05	0,037
2	Riegel in der Halle*	0,93	0,05	0,035
3	Pfosten (übriger Bereich)	0,91	0,05	0,034
4	Riegel (übriger Bereich)*	0,89	0,05	0,032
5	Öffnungsflügel (alle Schnitte, alle Bereiche)	0,97	0,13	0,031
6	Oberlichte**	1,10	0,13	0,040
* Werte auf Grundlage der Pfosten und der zertifizierten Variante abgeschätzt				
** Annahmen, noch keine konkreten Produktinformationen vorhanden				

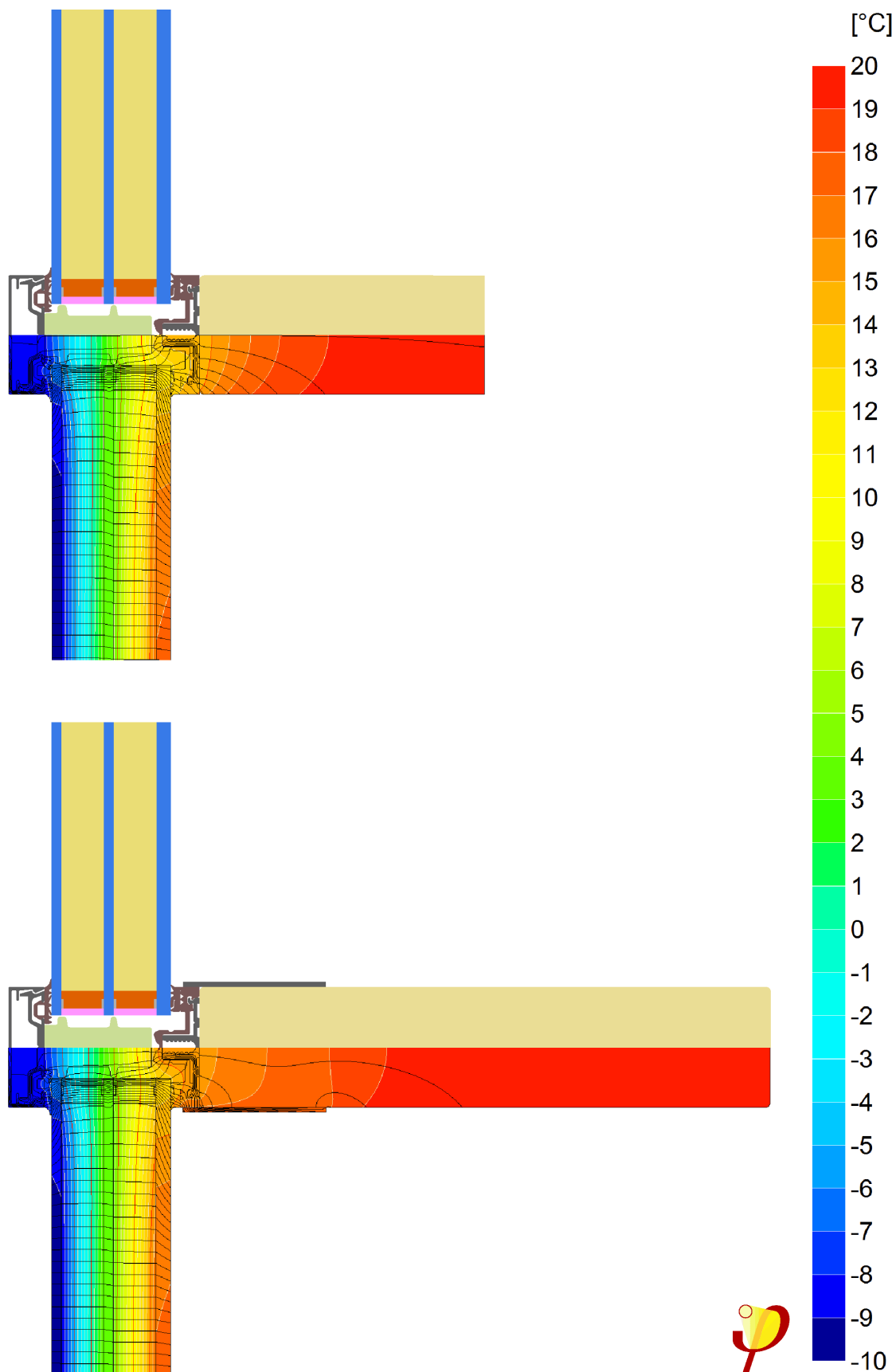


Abbildung 15: Pfosten-Riegel-Fassade Raico Therm+ 50 h-v in den im Lippebad verwendeten Versionen (Oben: Berechnungsmodell, unten: Isothermengrafik mit Temperatur- und Wärmestromlinien). In der Halle wird eine Variante mit Wärmeleitblechen zur Erhöhung der Glasrandtemperatur zur Anwendung kommen (untere Abbildung) (Quelle: PHI)

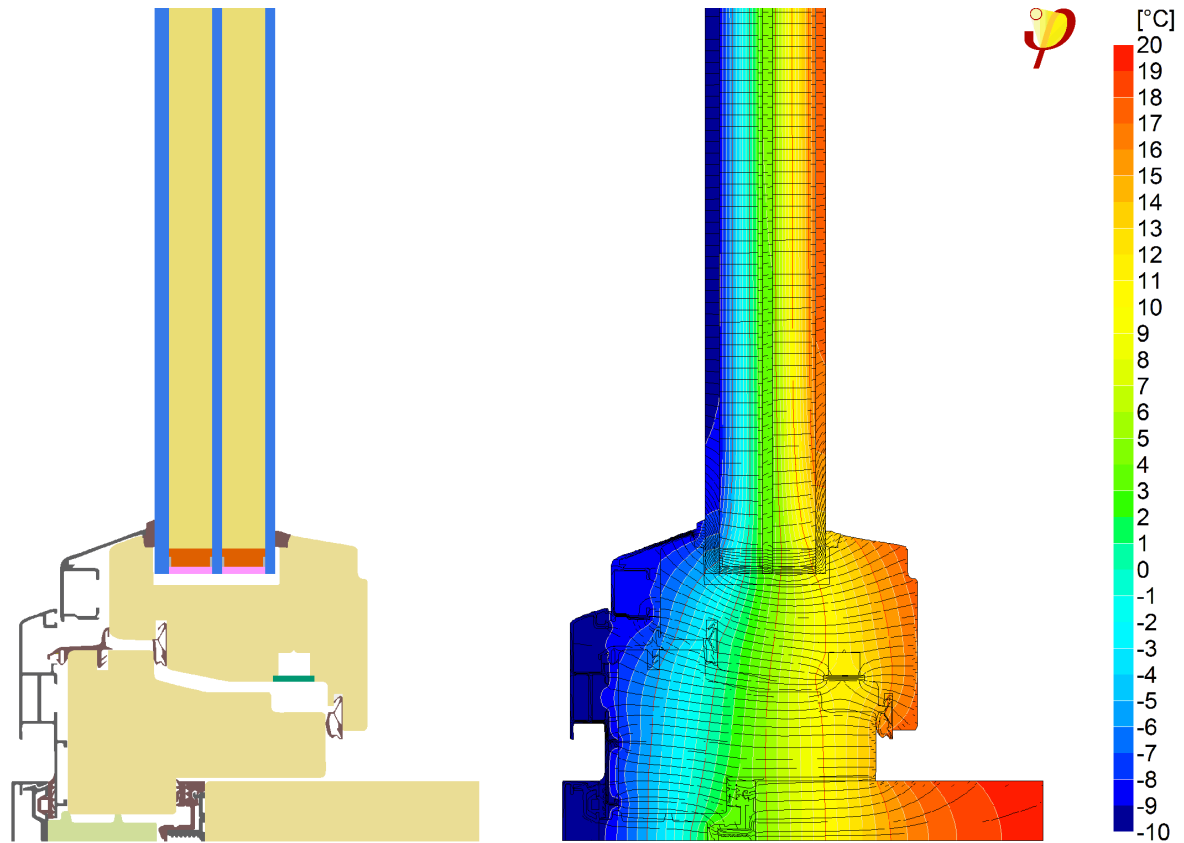


Abbildung 16: Öffnungsflügel in der zur Anwendung kommenden Version der Fassade Raico Therm+ 50 h-v. Links: Berechnungsmodell, rechts: Isothermengrafik mit Temperatur- und Wärmestromlinien (Quelle: PHI)

Einbausituation

In Abbildung 17 ist die Einbausituation exemplarisch dargestellt. Der Einbauwärmeverlustkoeffizient liegt mit $0,070 \text{ W}/(\text{mK})$ in einem für Pfosten-Riegel-Fassaden üblichen Bereich.

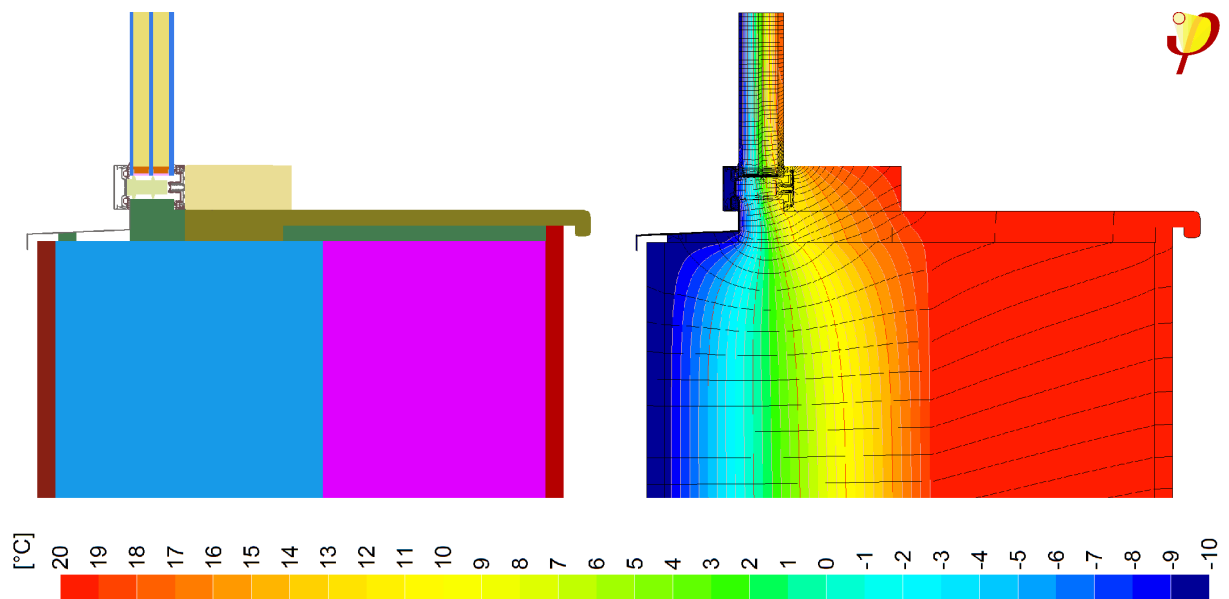


Abbildung 17: Einbausituation "unten" der zum Einsatz kommenden Pfosten-Riegel-Fassade in die geplante Betonwand mit Wärmedämmverbundsystem (Quelle: PHI)

Minimaltemperatur und resultierende maximale relative Feuchte

Im Rahmen der vom Passivhaus Institut durchgeführten Grundlagenuntersuchung [PHI 2009] wurde festgestellt, dass sich durch die Erhöhung der Luftfeuchte im Bad und der damit einhergehenden Verringerung der Verdunstung erhebliche Energieeinsparungen erzielen lassen vgl. auch 5.3.1.

Da Tauwasser aus hygienischen und baukonstruktiven Gründen vermieden werden soll, ist die maximale Luftfeuchte unter anderem von der minimalen Oberflächentemperatur innerhalb des Bades begrenzt.

Als kältestes Außenbauteil wurde in der Grundlagenstudie die ECKausbildung des inneren Glasrandbereiches von Pfosten-Riegel-Fassaden identifiziert.

Bezüglich der Oberflächentemperaturen sind zunächst Aluminiumtragsysteme im Vorteil. Werden Holzsysteme jedoch mit Aluminiumleisten aufgewertet, stellen diese sowohl hinsichtlich des Wärmedurchgangs als auch hinsichtlich der Oberflächentemperaturen die beste der in der Grundlagenstudie untersuchten Lösungen dar.

Bei der Planung der Fassaden für das Lippe Bad Lünen wurden die Empfehlungen aus der Grundlagenuntersuchung umgesetzt. Zum Einsatz wird die Pfosten-Riegel-Fassade Therm+ 50 h-v der Fa. Raico Bautechnik kommen, die hinsichtlich der Oberflächentemperatur durch Aluminiumleisten aufgewertet wird. Als Abstandhalter ist der SuperSpacer Tri-Seal der Fa. Edgetec geplant, welche als thermisch beste marktverfügbare Lösung gilt. Der hohe Scheibenabstand von 18 mm ermöglicht einen Wärmedurchgangskoeffizienten des Glases von $0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bei Argongasfüllung.

Um die minimale Oberflächentemperatur zu ermitteln, wurde eine Fassadenecke dreidimensional modelliert (vgl. Abbildung 18) und das thermische Verhalten simuliert.

Bei einer angenommenen Außentemperatur von -5°C und einer Innentemperatur von 32°C stellt sich in der modellierten Fassadenecke eine Temperatur von $23,98^\circ\text{C}$ ein (vgl. Abbildung 19). Dies entspricht einer maximalen kondensatfreien Raumlufffeuchte von 63% bei den genannten Randbedingungen. In Abbildung 20 sind die maximalen tauwasserfreien relativen Raumlufffeuchten einer Standardfassade und der geplanten Fassade in Abhängigkeit von der Außentemperatur dargestellt.

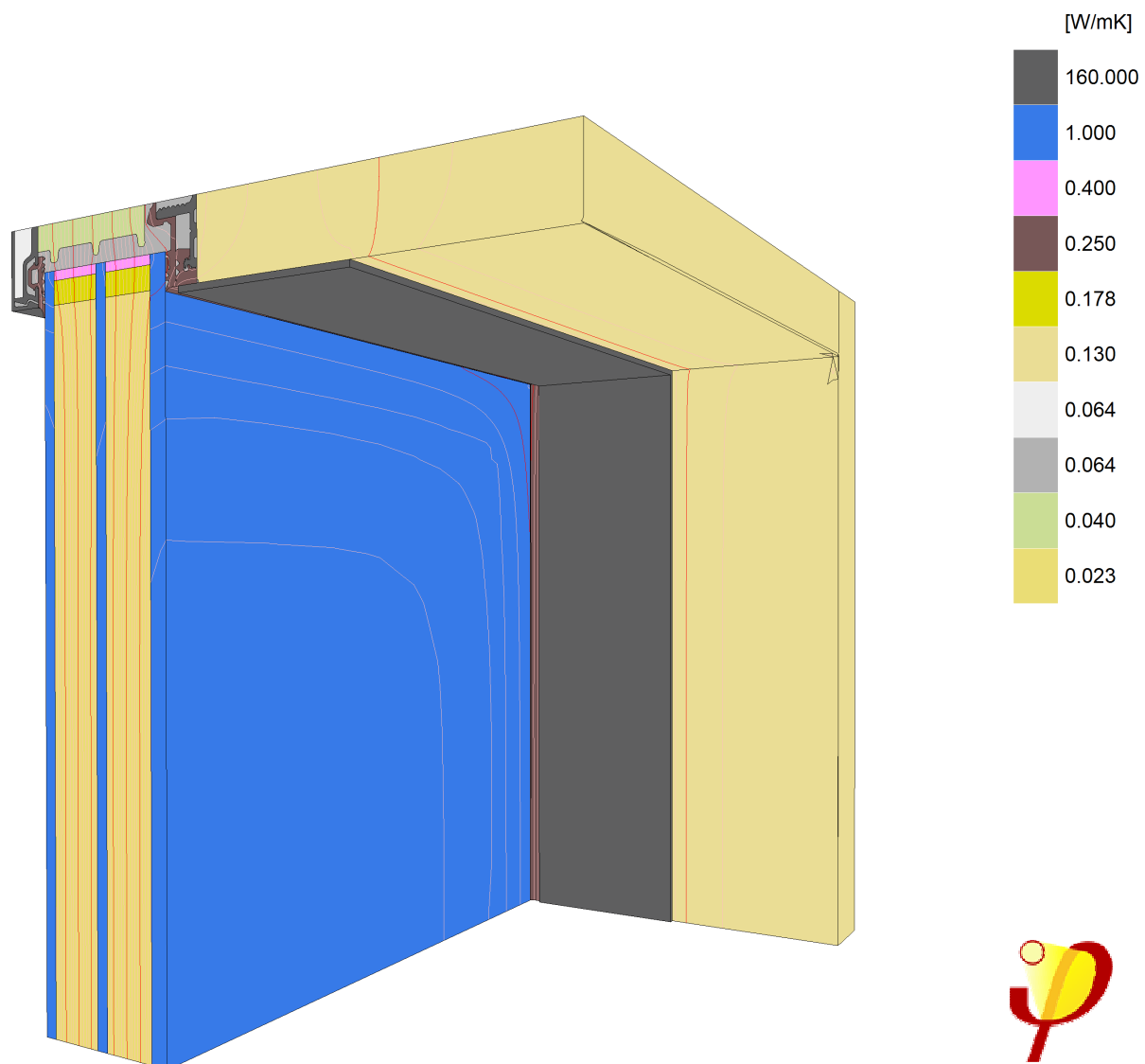


Abbildung 18: Simulationsmodell zur Ermittlung der minimalen Oberflächentemperatur der geplanten Fassade (Quelle: PHI)

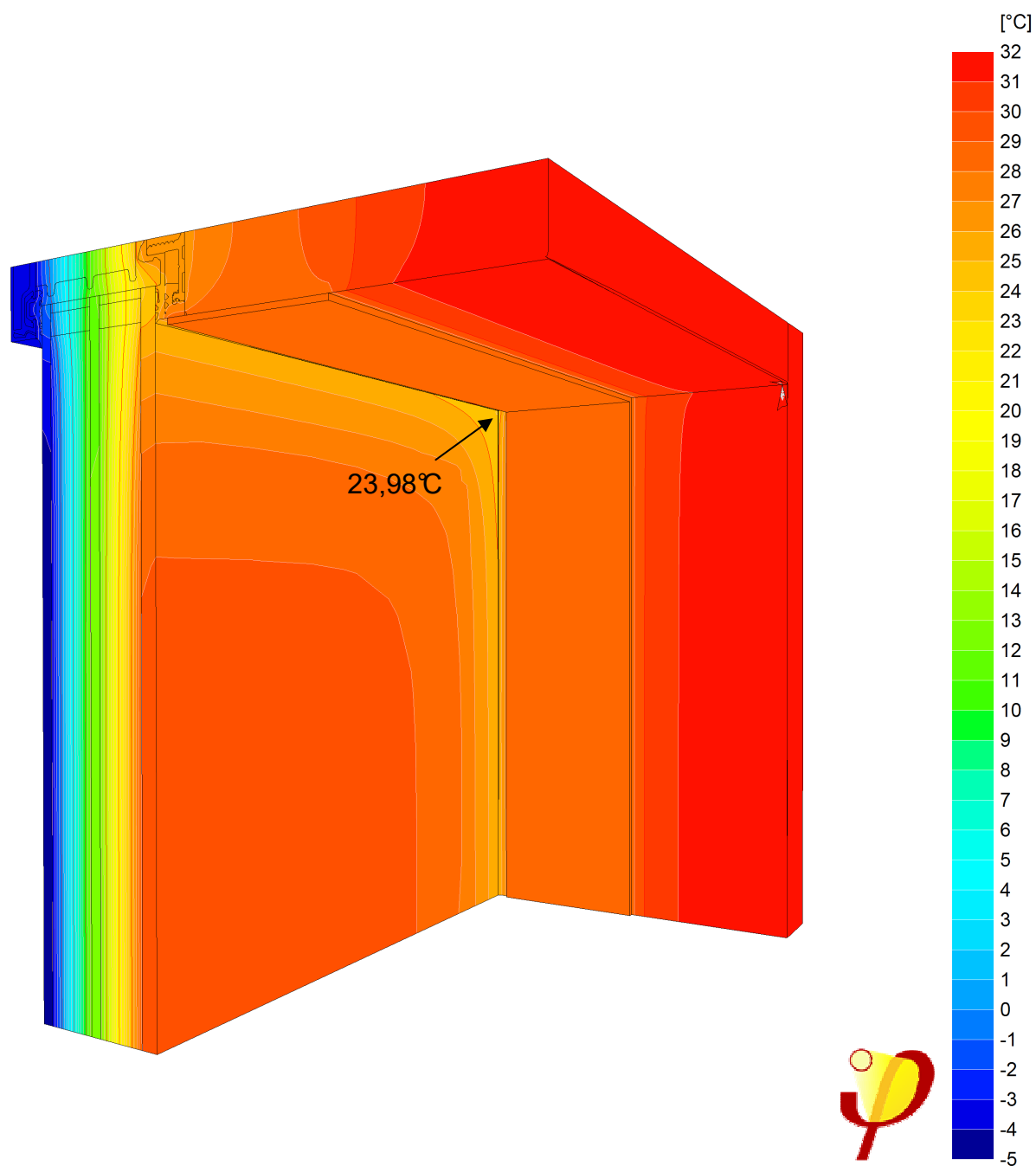


Abbildung 19: Isothermendarstellung für das Simulationsmodell zur Ermittlung der minimalen Oberflächentemperatur der geplanten Fassade bei einer Außentemperatur von -5 °C und einer Innentemperatur von 32 °C (Quelle: PHI)

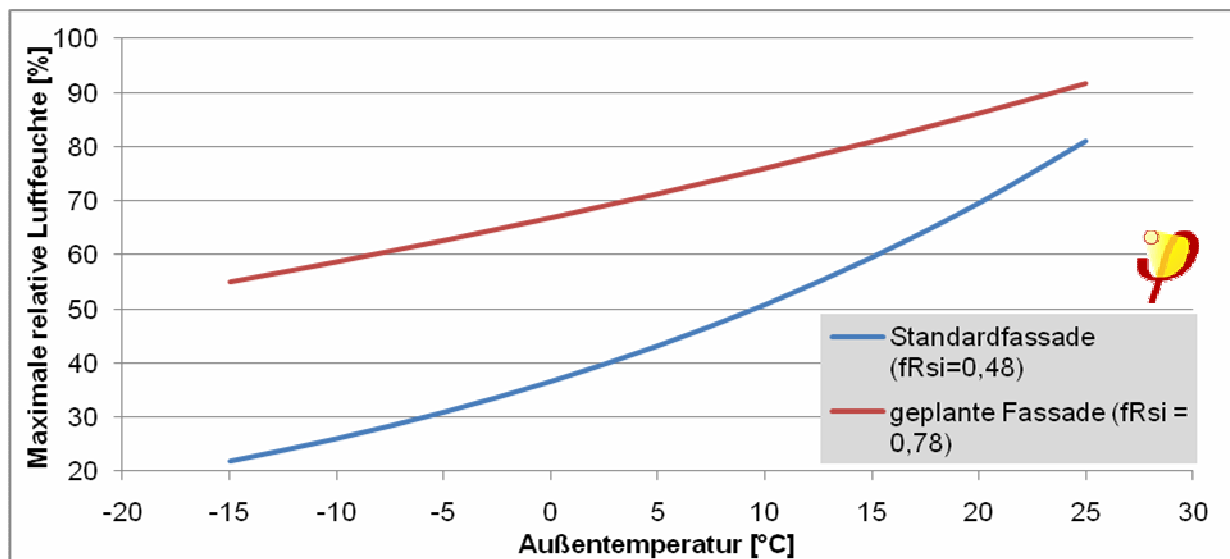


Abbildung 20: Maximale tauwasserfreie Raumluftheuchten einer Standardfassade (Aluminium Trafsysteem, 2-Fach Verglasung, Aluminium Randverbund) und der geplanten Fassade in Abhängigkeit von der Außentemperatur (Quelle: PHI).

Glasqualitäten

Im Lippe Bad Lünen werden bei allen vertikalen Verglasungen, bei denen dies statisch möglich ist, Scheibenzwischenräume von 18 mm gewählt. Dies ermöglicht Glas-U-Werte von 0,56 W/(m²K) auch mit Argon-Füllung. Der Gesamtenergiedurchlassgrad g wird mit 0,46 angenommen.

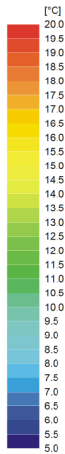
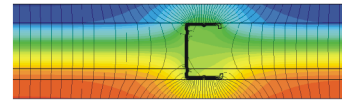
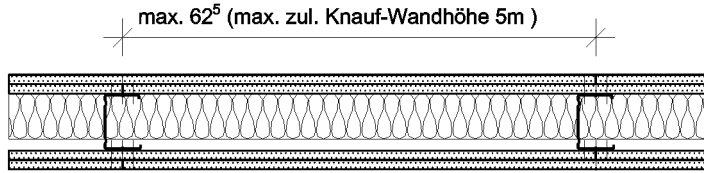
Für die Lichtkuppeln im Bereich der Umkleiden wurde ein Glas-U-Wert von 0,7 W/(m²K) bei einem Gesamtenergiedurchlassgrad g von 0,3 angenommen.

4.5.6 Innenbauteile zwischen Temperaturzonen

Um den Wärmefluss zwischen den Temperaturzonen zu reduzieren, werden auch die Innenwände mit einer Dämmung versehen. Teilweise werden hier Leichtbauwände mit Stahlprofil Tragstruktur eingesetzt. Diese Stahlprofile stellen Wärmebrücken dar, die durch das PHI ermittelt und in der Energiebilanzierung berücksichtigt wurden:

LW 1

Trennwand mit Metall-Einfachständerwerk, doppelt beplankt
 z.B. KNAUF AQUAPANEL Cement Board Indoor
 Einbaubereich 2

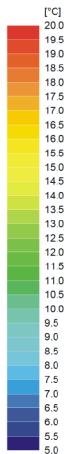
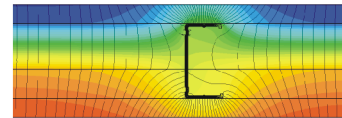
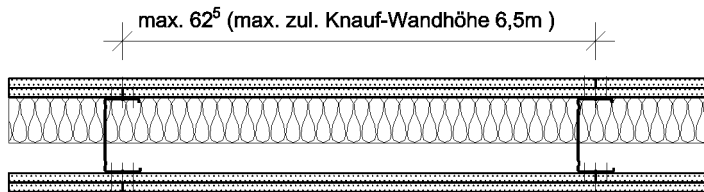


AQUAPANEL Cement Board, 2x12,5mm	2,5cm	$\lambda = 0,36 \text{ W/(mK)}$
Metallständerwerk CW 75/0,6-Profil	7,5cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/(mK)}$
Mineralfasereinlage $A_F \geq 5 \text{ kPa/m}^2$ optional	6 cm	$\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$
AQUAPANEL Cement Board, 2x12,5mm	2,5cm	$\lambda = 0,36 \text{ W/(mK)}$

$\Psi_{WB} = 0,158 \text{ W/(mK)}$
 $\Delta U_{WB} = 0,253 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 $U = 0,733 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

LW 2

Trennwand mit Metall-Einfachständerwerk, doppelt beplankt
 z.B. KNAUF AQUAPANEL Cement Board Indoor
 Einbaubereich 2

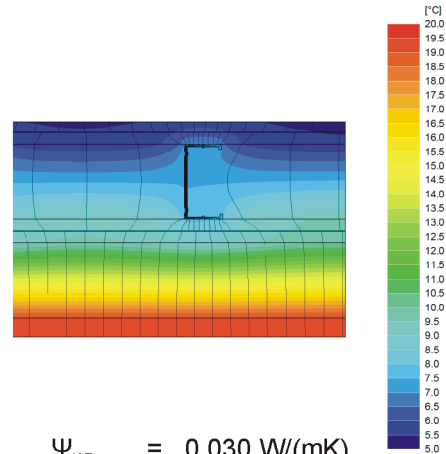
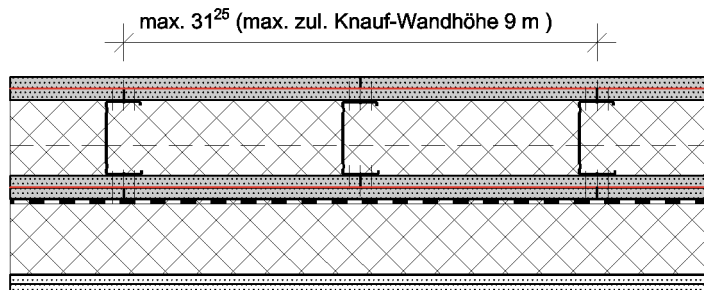


AQUAPANEL Cement Board, 2x12,5mm	2,5cm	$\lambda = 0,36 \text{ W/(mK)}$
Metallständerwerk CW 100/0,6-Profil	10cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/(mK)}$
Mineralfasereinlage $A_F \geq 5 \text{ kPa/m}^2$ optional	6 cm	$\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$
AQUAPANEL Cement Board, 2x12,5mm	2,5cm	$\lambda = 0,36 \text{ W/(mK)}$

$\Psi_{WB} = 0,162 \text{ W/(mK)}$
 $\Delta U_{WB} = 0,259 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 $U = 0,757 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

LW 3

Brandwand A1, nichttragend als Montagewand
mit Metall-Einfachständerwerk, doppelt beplankt
z.B. KNAUF W132
Treppenhaus E.09 Altbau



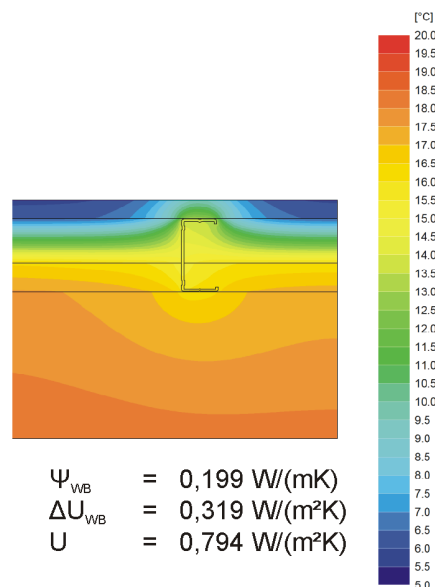
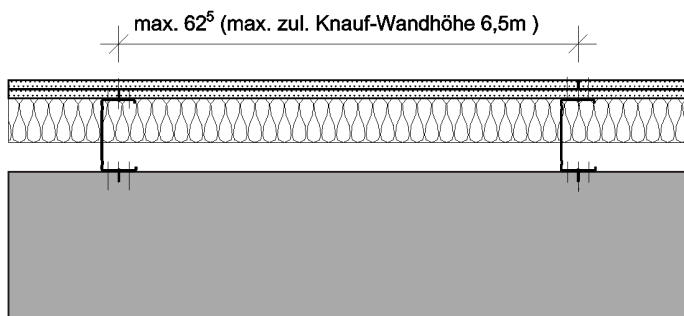
Brandwand F90 nach DIN 4102-3, nichttragend D= 61,1cm

Knauf Fireboard, 2x15mm Stahleini 0,5mm	3,05cm	$\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$
Metallständerwerk CW 100/50/0,6-Profil	10cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/(mK)}$
Dämmschicht Bauklasse A	10,cm	$\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$
Knauf Fireboard, 2x15mm Stahleini 0,5mm	3,05cm	$\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$
Schaumglas, dampfdicht geklebt, z. B. FOAMGLAS Platten T4+ o.glw.	10cm	$\lambda = 0,042 \text{ W/(mK)}$
AQUAPANEL Cement Board, 2x12,5mm	2,5cm	$\lambda = 0,36 \text{ W/(mK)}$

$$\begin{aligned}\Psi_{\text{WB}} &= 0,030 \text{ W/(mK)} \\ \Delta U_{\text{WB}} &= 0,094 \text{ W/(m}^2\text{K)} \\ U &= 0,280 \text{ W/(m}^2\text{K)}\end{aligned}$$

LW 7

Trennwand mit Metall-Einfachständerwerk, doppelt beplankt
z.B. KNAUF AQUAPANEL Cement Board Indoor
Auf Stahlbetonwand



AQUAPANEL Cement Board, 2x12,5mm	2,5cm	$\lambda = 0,36 \text{ W/(mK)}$
Metallständerwerk CW 100/0,6-Profil	10cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/(mK)}$
Mineralfasereinlage $A_F \geq 5 \text{ kPa/m}^2$ optional	6 cm	$\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$
Stahlbeton	20 cm	$\lambda = 2,3 \text{ W/(mK)}$

$$\begin{aligned}\Psi_{\text{WB}} &= 0,199 \text{ W/(mK)} \\ \Delta U_{\text{WB}} &= 0,319 \text{ W/(m}^2\text{K)} \\ U &= 0,794 \text{ W/(m}^2\text{K)}\end{aligned}$$

4.6 Wärmebrücken

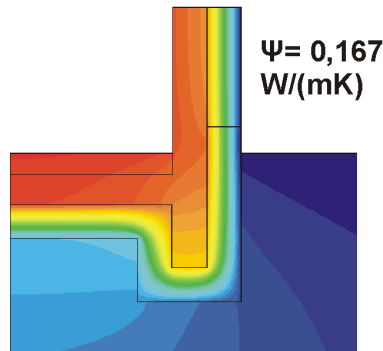
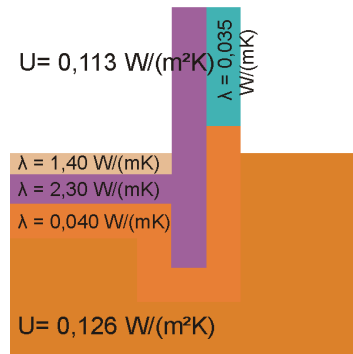
Eine wesentliche Säule des Passivhaus Konzeptes ist die Vermeidung von Wärmebrücken. Daher werden für Passivhäuser grundsätzlich wärmebrückenfreie Konstruktionen und Anschlüsse gefordert (vgl. z.B. Feist 2001). Bei komplexen Gebäuden kann es aus statischen und konstruktiven Gründen jedoch zu unvermeidbaren Wärmebrücken kommen (vgl. z.B. AkkP 35). Dies gilt insbesondere

bei der energetischen Ertüchtigung von Bestandsgebäuden (siehe z.B. AkkP 24, AkkP 32, AkkP 39). In Tabelle 2 sind die identifizierten Wärmebrücken mit ihren Wärmebrückenverlustkoeffizienten und Längen aufgeführt. Abbildung 21 bis Abbildung 23 zeigen die Simulationsmodelle und Temperaturverläufe.

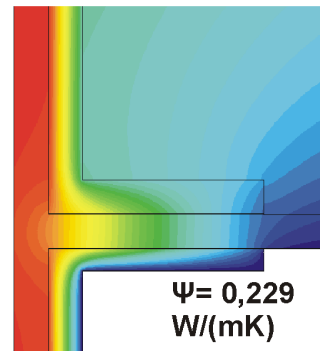
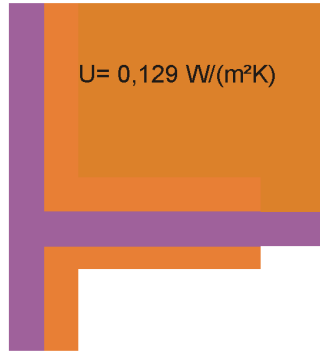
Tabelle 2: Bilanzierte Wärmebrücken

Nr.	Wärmebrücke	\square [W/(mK)] bzw. \square [W/K]	Länge [m]	Quelle
1	Dämmschürze, Neubau	0,167	35,2	Abbildung 21
2	Anschluss Entrauchungs- bzw. Lüftungsschacht, Neubau	0,227	28,9	Abbildung 21
3	Auskragende Wandecke, Neubau	0,040	22,0	Abbildung 21
4	Einbindung Betondecke Altbau	0,694	35,3	Abbildung 22
5	Attikaanschluss Altbau	0,097	63,6	Abbildung 22
6	Anschluss Schwimmhalle-Schalthalle Altbau	0,658	37,9	Abbildung 22
7	Fußpunkt Altbau	0,668	27,0	Abbildung 23
8	Anschluss Bodenplatte Alt- und Neubau	1,128	49,5	Abbildung 23
9	(Strang-) Entlüftungsrohre	0,1	27,5	PHI
10	Befestigungspunkte für Alu-Steigleiter (punktförmig, Anzahl)	0,01	4	AkkP 35
11	Glasträger (punktförmig, Anzahl)	0,04	294	Krick 2010

Dämmschürze Neubau



Anschluss Lüftungs- und Entrauchungsschacht Neub.



Auskragende Wandecke Neubau

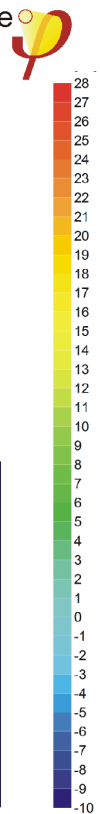
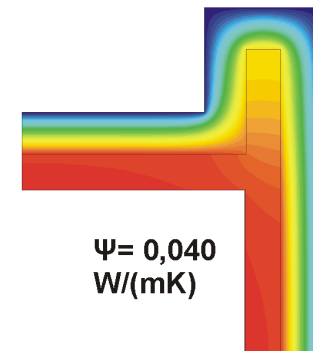
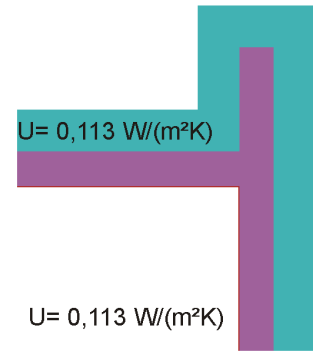
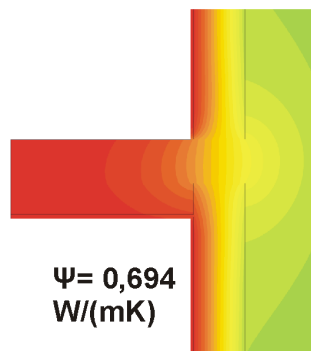
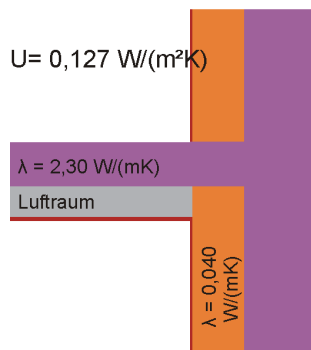
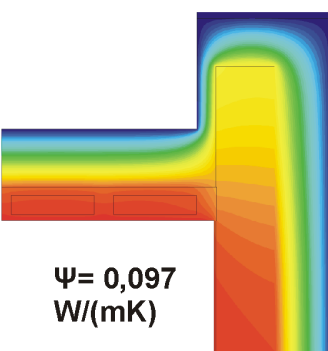
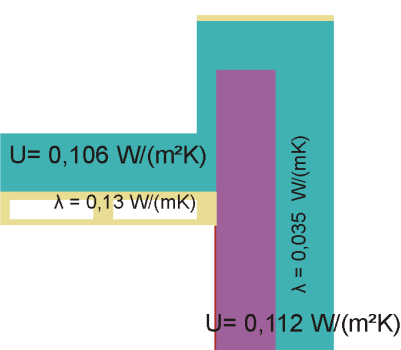


Abbildung 21: Berechnete Wärmebrücken im Bereich des Neubaus (PHI)

Einbindung Betondecke Altbau



Attikaausbildung Altbau



Verbindung Schwimmhalle- Schalthalle Altbau

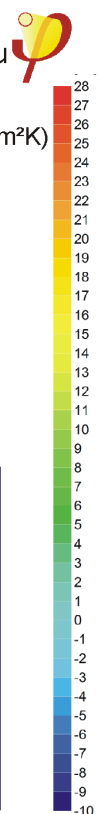
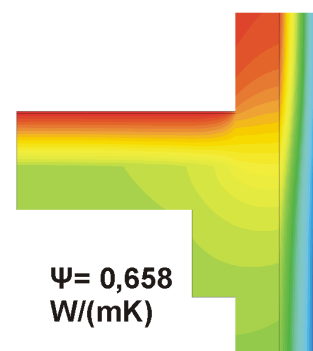
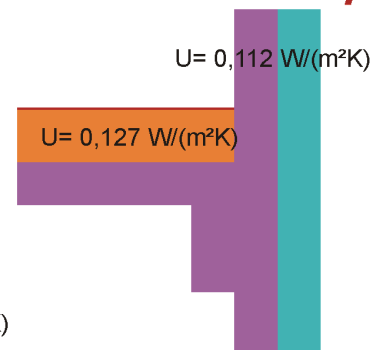


Abbildung 22: Berechnete Wärmebrücken im Bereich des Altbaus (1) (PHI)

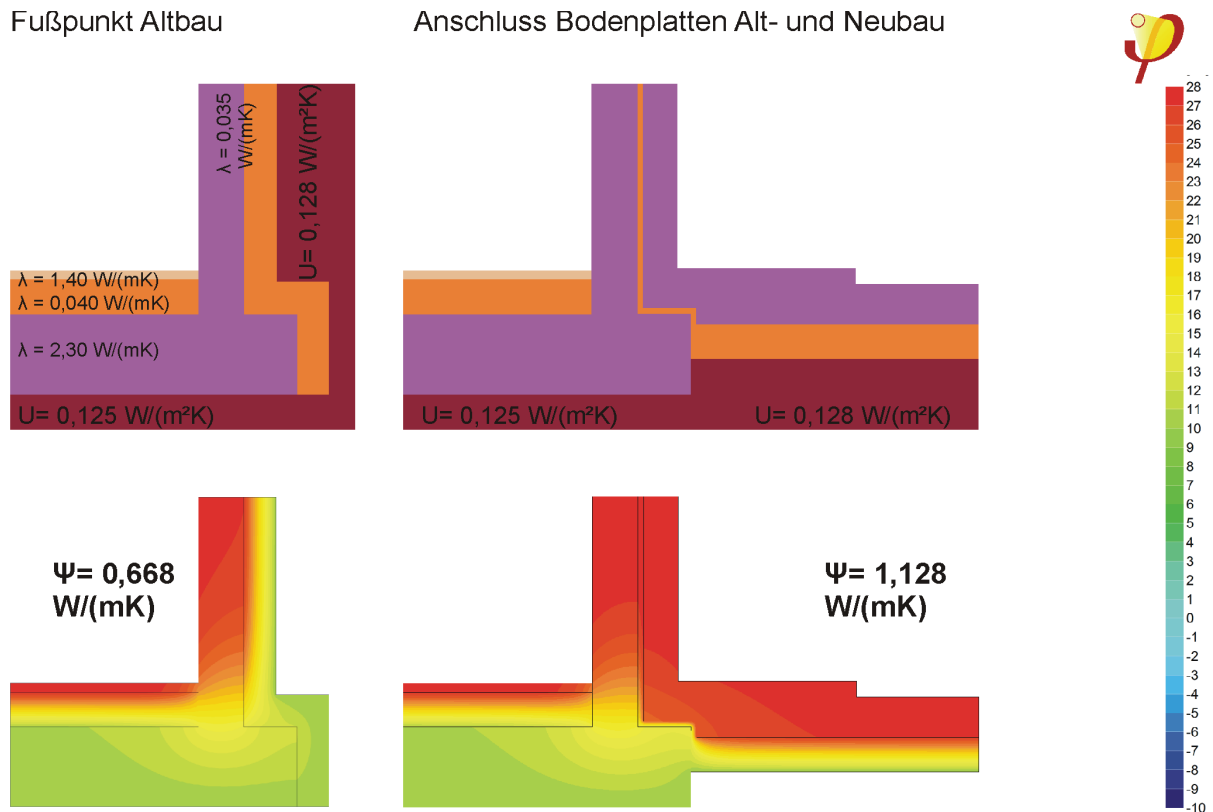


Abbildung 23: Berechnete Wärmebrücken im Bereich des Altbaus (2) (PHI)

4.7 Luftdichtheitskonzept

Die Erfahrungen mit großvolumigen Passivhäusern zeigen, dass im Durchschnitt n_{50} -Werte von $0,3 \text{ h}^{-1}$ erreicht werden. Bei sehr guten Luftdichtheitskonzepten und sehr guter Ausführung liegen die n_{50} -Werte sogar unter $0,1 \text{ h}^{-1}$. Eine präzisere Aussage über die Güte der Luftdichtheit gibt der Leckageluftwechsel bezogen auf die Fläche der Außenbauteile, der so genannte q_{50} -Wert wieder. Dieser liegt im Schnitt etwas unter $0,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Setzt man diesen als oberen Grenzwert für das Hallenbadgebäude in Lünen fest, so ergibt sich ein n_{50} -Wert von $0,2 \text{ h}^{-1}$. Aufgrund der höheren Inraumfeuchten und des damit verbundenen Bauschadensrisikos im Bereich der Leckagen wird dieser Wert als Zielwert festgelegt:

$$n_{50} \leq 0,2 \text{ h}^{-1}$$

Im Boden- und Wandbereich wird die luftdichte Ebene durch die Stahlbetonkonstruktion, teilweise in Verbindung mit dem Innenputz hergestellt. Im Dachbereich bildet die Dampfsperre zwischen Dämmung und Holzkonstruktion die luftdichte Ebene. Die Übergänge der Ebenen und die Anschlüsse an Fenster- und Pfosten-Riegel-Fassaden wurden sorgfältig detailliert.

4.8 Sommerfall

Die Untersuchungen zum Grundlagenbericht Passivhaus Hallenbad [PHI 2009] zeigen, dass es aufgrund der hohen Temperaturen im Hallenbad auch ohne Sonnenschutz kaum zu Übertemperaturen im Sommer kommt. Aus diesem Grund wurde, abgesehen von den Dachüberständen, auf Verschattungseinrichtungen verzichtet. Eine Kühlung erfolgt über eine Erhöhung des Außenluftwechsels.

4.9 Tageslichtoptimierung

Der Primärenergieeinsatz zur Sicherstellung einer ausreichenden Beleuchtung erreicht bei Nichtwohngebäuden bedeutende Größenordnungen. Im Sinne einer nachhaltigen Energieeffizienzstrategie sollen, wo dies gesamtwirtschaftlich vertretbar ist, alle baulichen Möglichkeiten ausgeschöpft werden, die dazu beitragen, den Kunstlichteinsatz zu reduzieren. Dazu zählt neben der Wahl der Reflexionsgrade der Raumumfassungsflächen vor allem die Optimierung der transparenten Flächen. Hierzu wurde eine Tageslichtsimulation der einzelnen Hallenabschnitte durch das PHI durchgeführt. Anhand der Ergebnisse konnten dann Verbesserungen hinsichtlich der Kunstlichtautonomie erzielt werden.

4.9.1 Tageslichtquotient

Der Tageslichtquotient (D) gibt das Verhältnis der im Gebäude tatsächlich vorhandenen Beleuchtungsstärke (E_P) zur außerhalb des Gebäudes verfügbaren Beleuchtungsstärke, gemessen auf einer horizontalen Fläche (E_{HZ}), an:

$$D = E_P / E_{HZ} \quad [\%]$$

Die durchschnittliche Beleuchtungsstärke im Freien beträgt bei bedecktem Himmel 10.000 Lux. Bei einer gewünschten Beleuchtungsstärke im Hallenbereich von 300 Lux muss der Tageslichtquotient mindesten 3 % erreichen.

Die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung stellt ein weiteres wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Qualität der Tageslichtversorgung dar. Hohe Quotienten im

fensternahen Bereich und niedrige in Hallenmitte führen zu starken Kontrasten, was einer optimalen Nutzerfreundlichkeit entgegensteht.

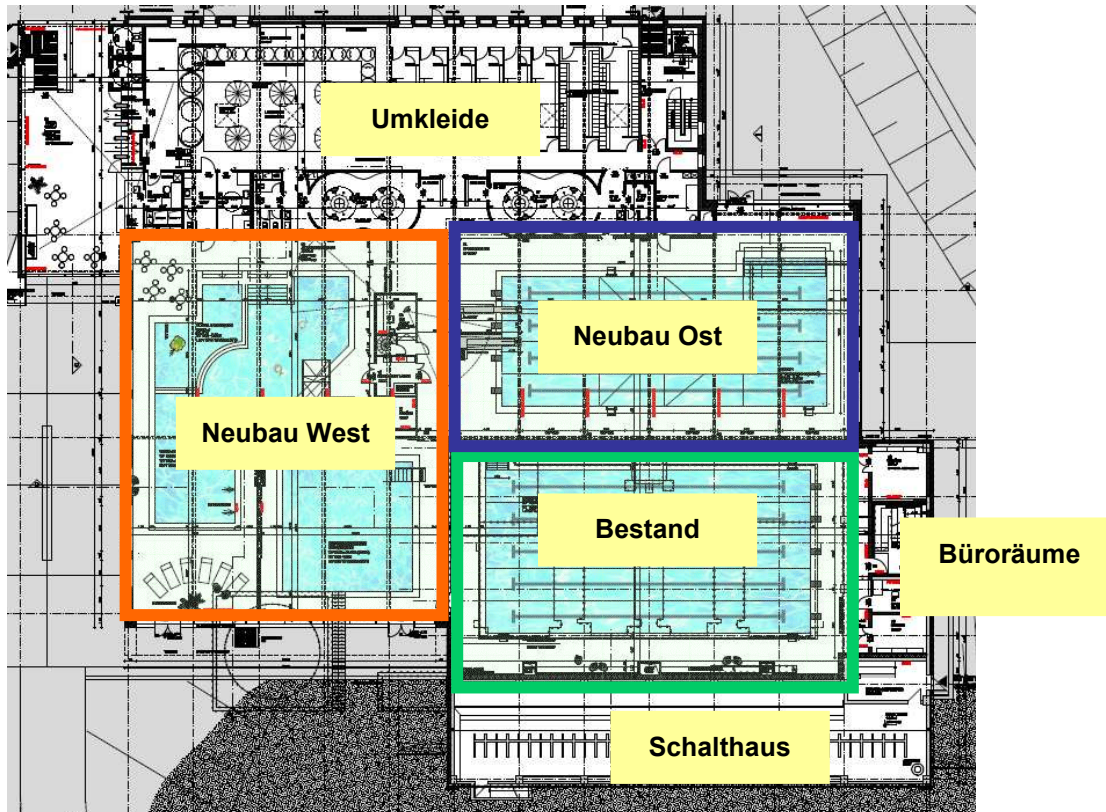


Abbildung 24: Grundriss des Hallenbades – betrachtete Bereiche der Tageslichtsimulation

4.9.2 Optimierung der Tageslichtnutzung im Gebäudebestand

Das Fernheizwerk besteht aus einer massiven Stahlbetonkonstruktion mit einer lichten Hallenhöhe von 12,8 m. Die Südseite des Hallenbereiches wird durch das Schalthaus begrenzt, im Ostbereich liegen Büroräume, an der Nord- und Westseite schließt der Neubau mit einer Hallenhöhe von etwa 6 m an. Für eine Tageslichtversorgung stehen daher lediglich die oberen Hallenbereiche der West- und Nordseite sowie die Dachflächen zur Verfügung. Für die Simulation wurden Reflexionsgrade der Wand und Decken von 70 %, sowie der Bodenflächen 60% (sehr hell) angenommen. Zum Vergleich: ein weißer Anstrich weist Reflexionsgrade von 75 bis 85 % auf.

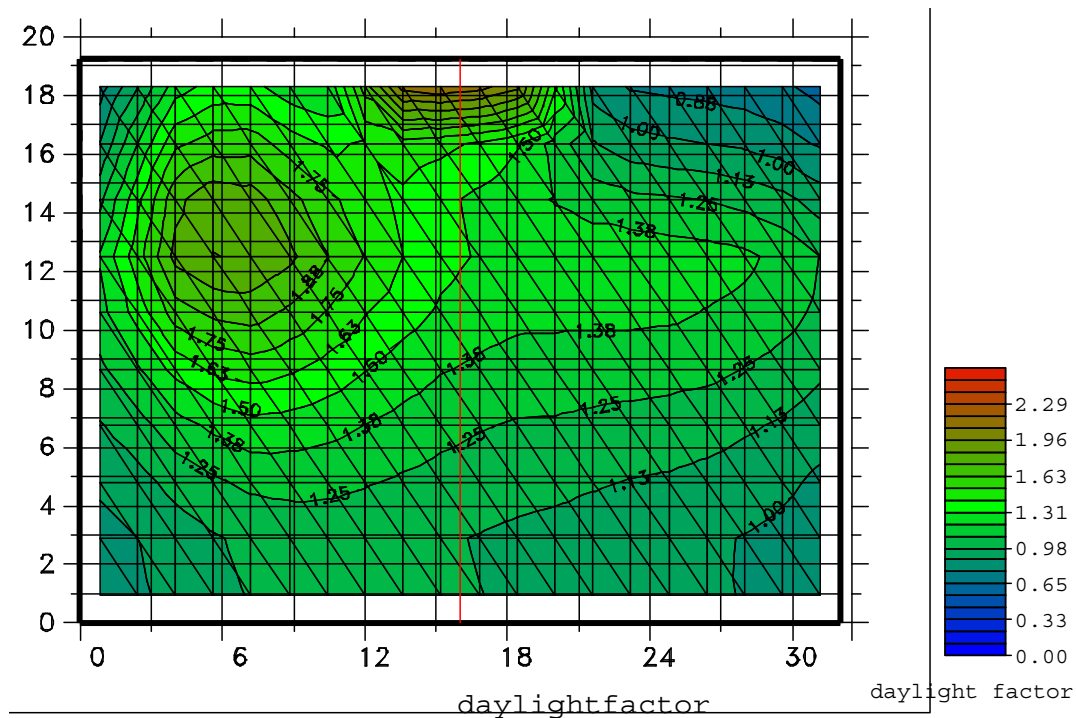


Abbildung 26: Tageslichtkoeffizient für den Hallenabschnitt im Bestandsgebäude

Zur Optimierung des Tageslichtquotienten wurde eine Vergrößerung der Fensterhöhe im Norden auf 1,5 m und eine Erhöhung der Fensterfläche im Westen vorgeschlagen. Durch diese Maßnahmen konnte eine deutlich bessere Tageslichtnutzung sowie eine gute Gleichmäßigkeit der Beleuchtung erzielt werden (Abbildung 27 und Abbildung 28).

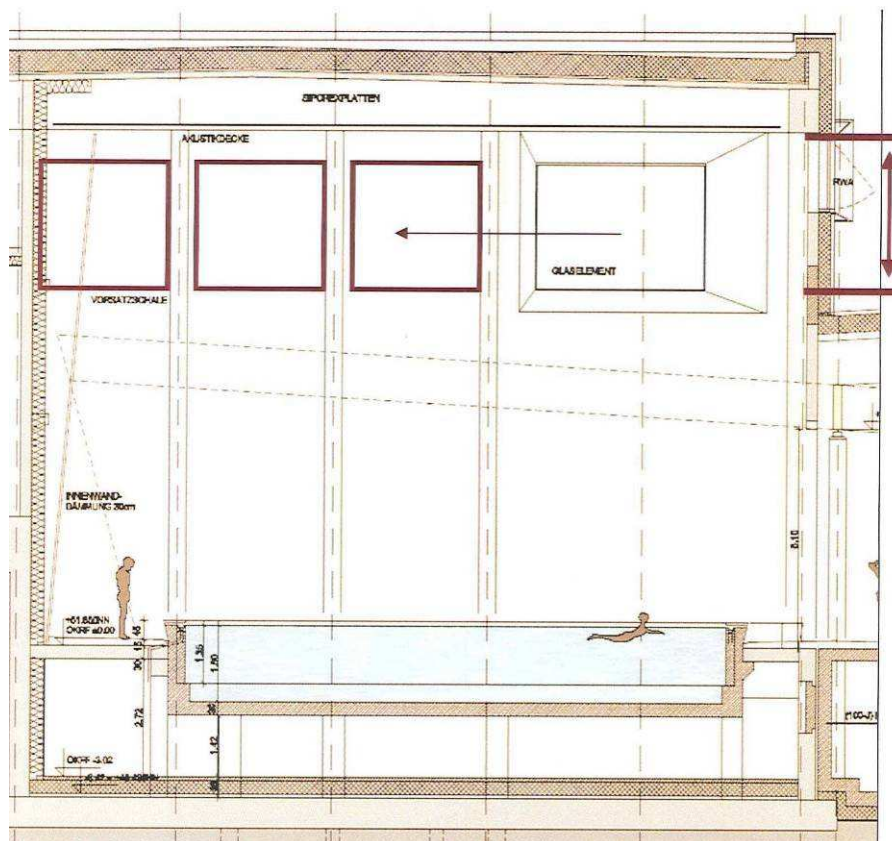


Abbildung 27: Verbesserungsvorschlag zur Optimierung der Tageslichtausbeute im Bestandsgebäude

Lichtkuppeln im Dachbereich bereiten bei Hallenbädern im Passivhausstandard noch Schwierigkeiten, da alle verfügbaren Konstruktionen mit Wärmebrücken behaftet sind. Bei der geplanten Anhebung der Hallenluftfeuchte könnte dies zu Kondensatproblemen führen. Weitere Gründe für die Entscheidung gegen Lichtkuppeln waren erhebliche Mehrkosten, Überhitzungsprobleme im Sommer, Blendung der Schwimmer, Reduzierung der für Photovoltaik nutzbaren Dachfläche sowie ein hoher Aufwand zur Wartung und Reinigung.

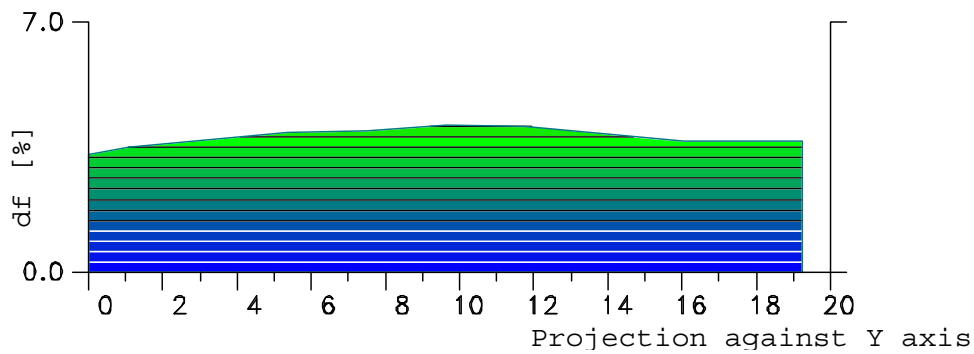
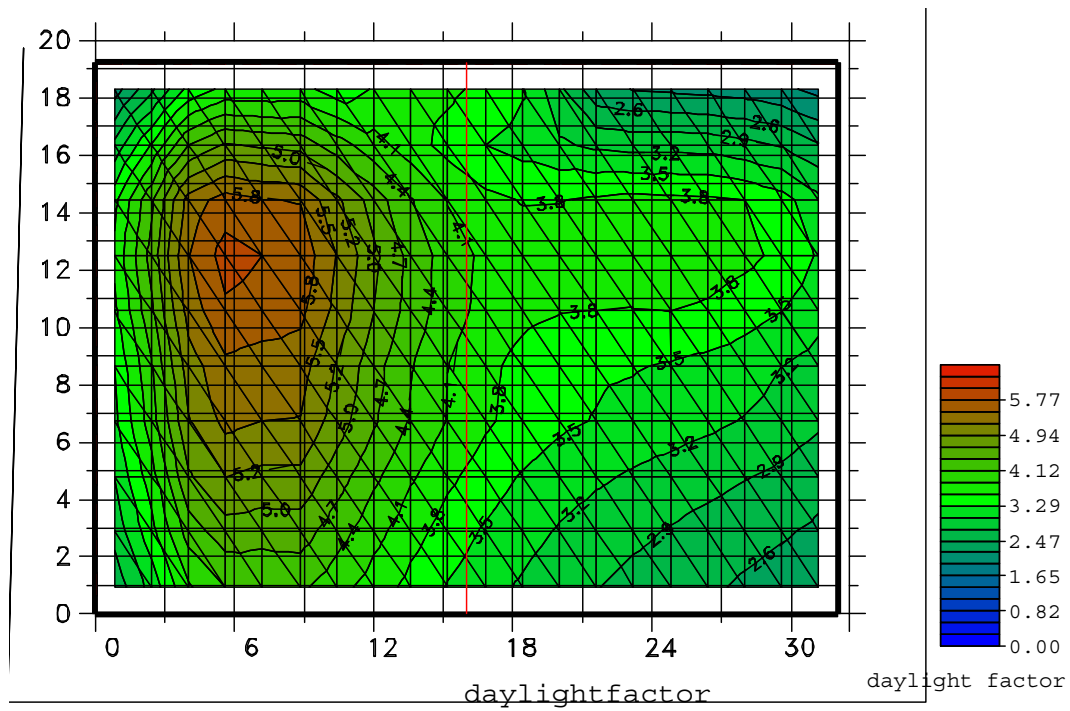


Abbildung 28: Tageslichtkoeffizient für den Hallenabschnitt im Bestandsgebäude mit optimierten Fensterflächen

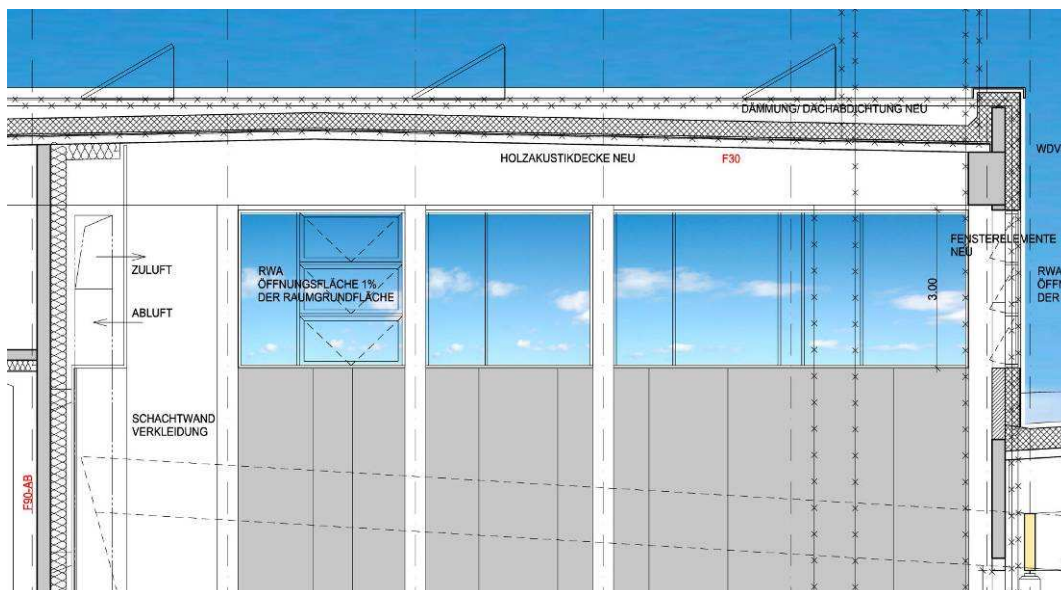


Abbildung 29: Verbesserte Fenstersituation im Bestandsgebäude

Die Empfehlungen aus der Tageslichtsimulation für diesen Bereich wurden wie folgt in die Planung umgesetzt:

- Vergrößerung des Fensterbandes Nordfassade von $h = 1,50\text{m}$ auf $h = 3,00\text{m}$.
- $h = 3,50\text{m}$ aufgrund des Dachanschlusses nicht möglich.
- Vergrößerung ($h = 3,00\text{m}$) und Verlängerung des Fensterbandes Westfassade in Südrichtung.
- Verlängerung bis an die Schalldämmwand des Raumes aufgrund der TGA-Installationswand nicht möglich.
- Reflexionsgrade: Wand: ca. 80% (im wesentlichen weisser Anstrich)
 Decke: ca. 70% (Weisstanne natur)
 Boden: noch nicht festgelegt (produktabhängig)

4.9.3 Optimierung der Tageslichtnutzung im Hallenbereich Ost

Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die geplante Situation im östlichen Bereich des Neubaus. Dort sind die Fensterflächen sowohl im Norden als auch im Osten raumhoch vorgesehen. Im Bereich der Umkleiden sind nur Oberlichter möglich.

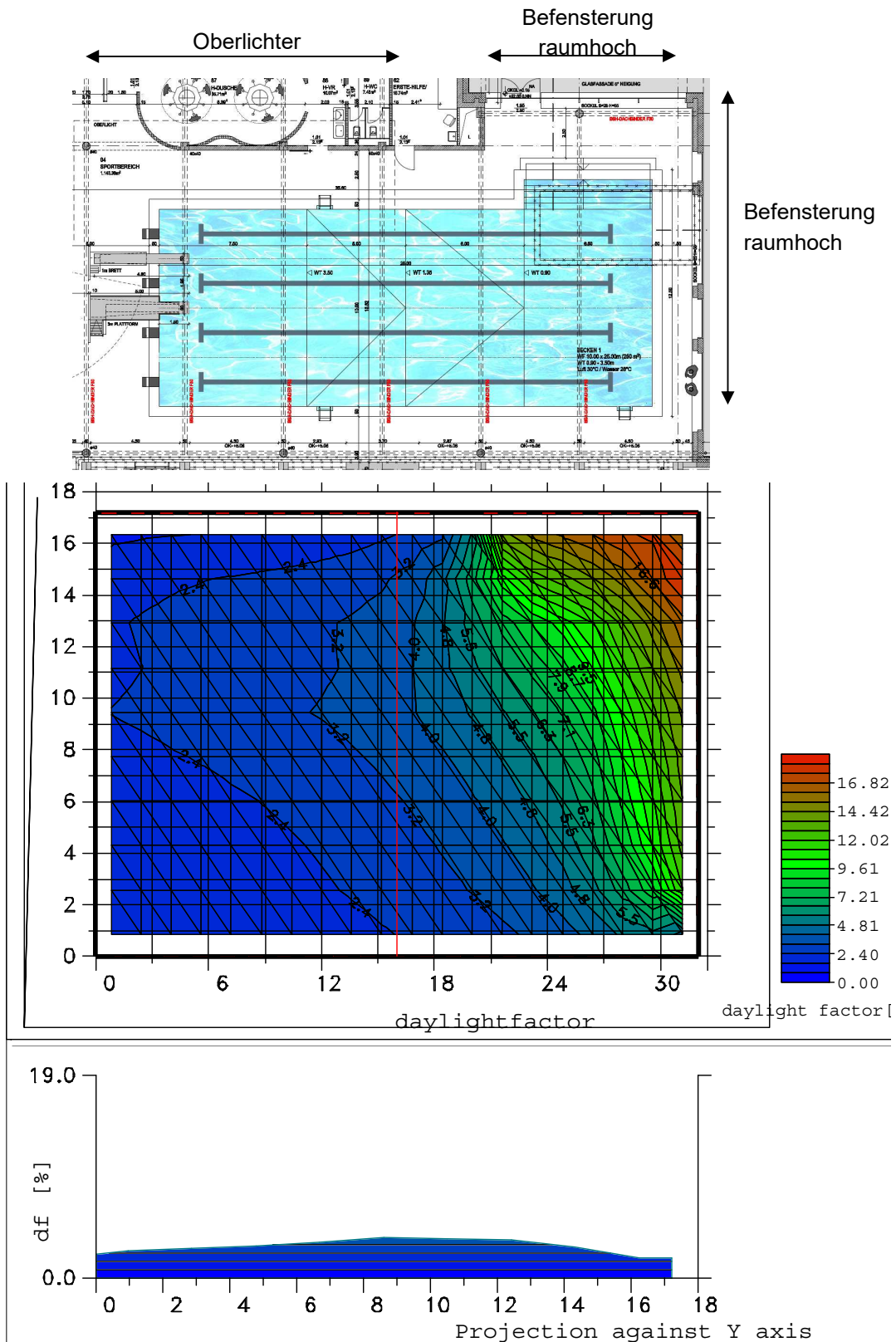


Abbildung 30: Tageslichtkoeffizient für den Hallenabschnitt Ost

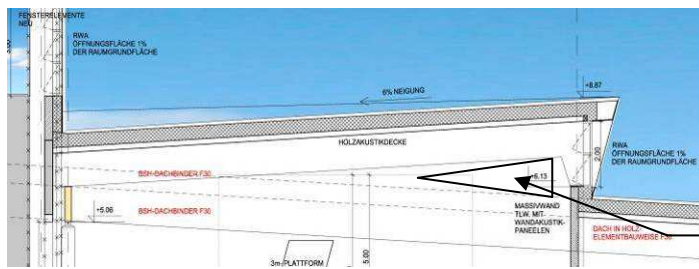


Abbildung 31: Verbesserungsvorschlag zur Optimierung der Tageslichtausbeute des östlichen Neubaus durch höhere Oberlichter

Die Simulation brachte folgende Ergebnisse: Der Tageslichtkoeffizient nimmt von Nordosten nach Südwesten hin deutlich ab. In Hallenmitte (Bereich Sprungturm) werden sehr geringe Werte von unter 3% erreicht.

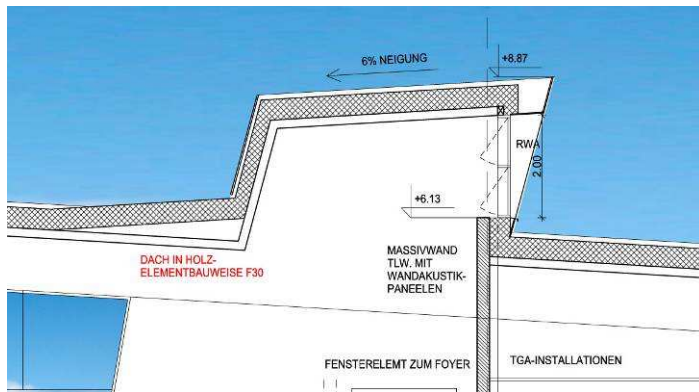
Die Nordostecke wird aufgrund der raumhohen Verglasung überversorgt sodass die Tageslichtversorgung ungleichmäßig ist. Zur Verbesserung der Tageslichtversorgung in Hallenmitte könnten die Oberlichtbänder vergrößert bzw. erweitert werden. Werden die raumhohen Verglasungen mit Brüstungen versehen, so verbessert sich die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung.

Die Empfehlungen aus der Tageslichtsimulation für diesen Bereich wurden wie folgt in die Planung umgesetzt:



**Oberlichtband
Sportbecken 1**

Kein Fenster möglich!



**Oberlichtband
Warmwasser-/Erholungsbecken**

- Vergrößerung der Oberlichtbänder Nordfassade von $H= 1,50\text{m}$ auf $H= 2,00\text{m}$.
- Dachgaube Sportbecken 1: zusätzliches, seitl. Fensterelement an West/Ostfassade aufgrund seitl. Dachanschluß nicht möglich.

Trotz der Vergrößerung der Nord-Oberlichter ist die Versorgung in Hallenmitte noch nicht optimal. Die Tageslichtversorgung über dem Becken ist ausreichend, vgl. Abbildung 32.

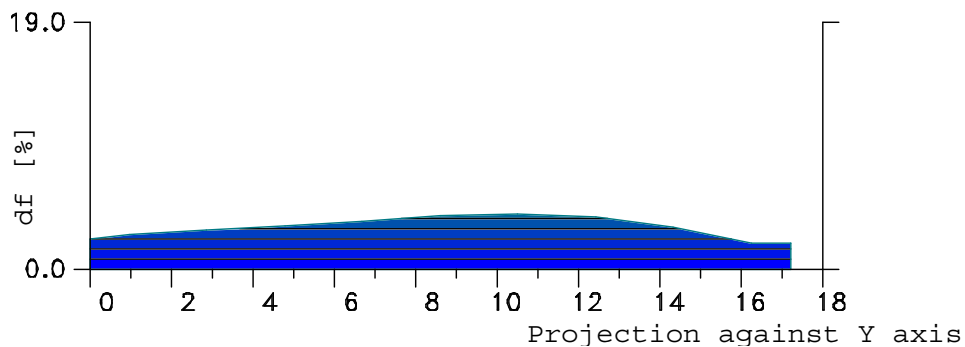
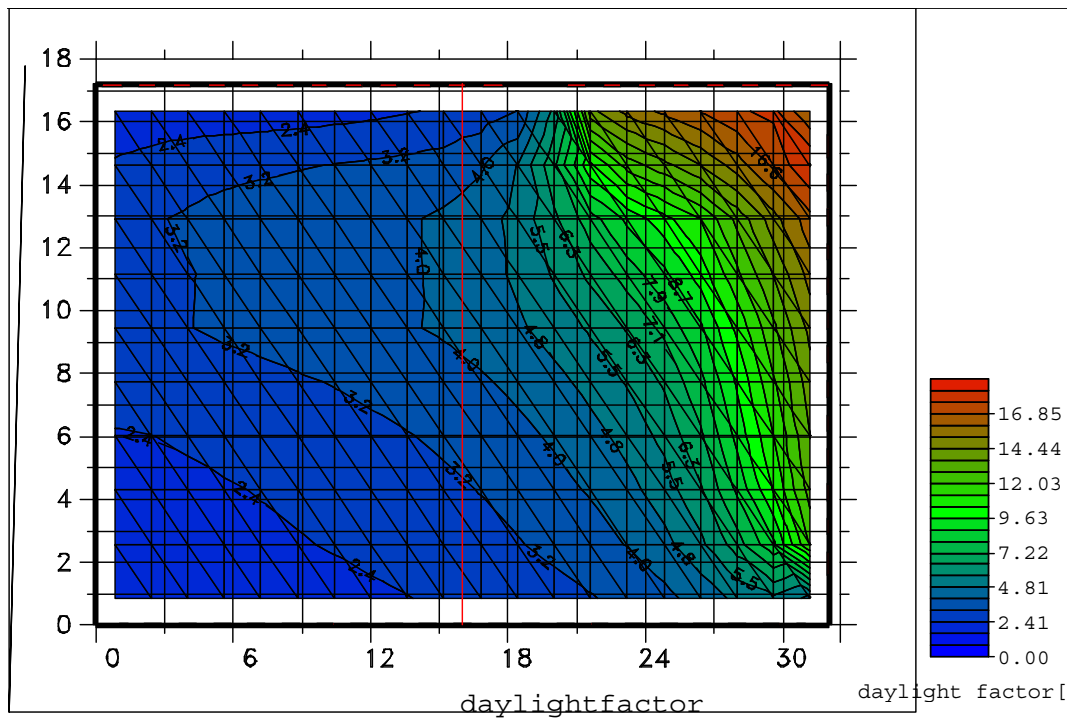


Abbildung 32: Tageslichtkoeffizient für den Hallenabschnitt Ost mit optimierten Fensterflächen

4.9.4 Optimierung der Tageslichtnutzung im westlichen Neubau

Die West- und Südfassaden im westlichen Teil des Neubaus sind großzügig verglast, im Norden wird dieser Teil durch das Foyer begrenzt, im Osten schließen die zuvor beschriebenen Hallenbereiche des Bades an.

Abbildung 33 zeigt die geplante Situation und die Ergebnisse aus der Tageslichtsimulation.

Ergebnisse aus der Simulation: Während die Nordwand unterversorgt ist, verfügt die Süd-West Fassade über sehr hohe Tageslichtquotienten. Durch Schließen der Fassaden im unteren Bereich kann eine gleichmäßigere Ausleuchtung erzielt werden.

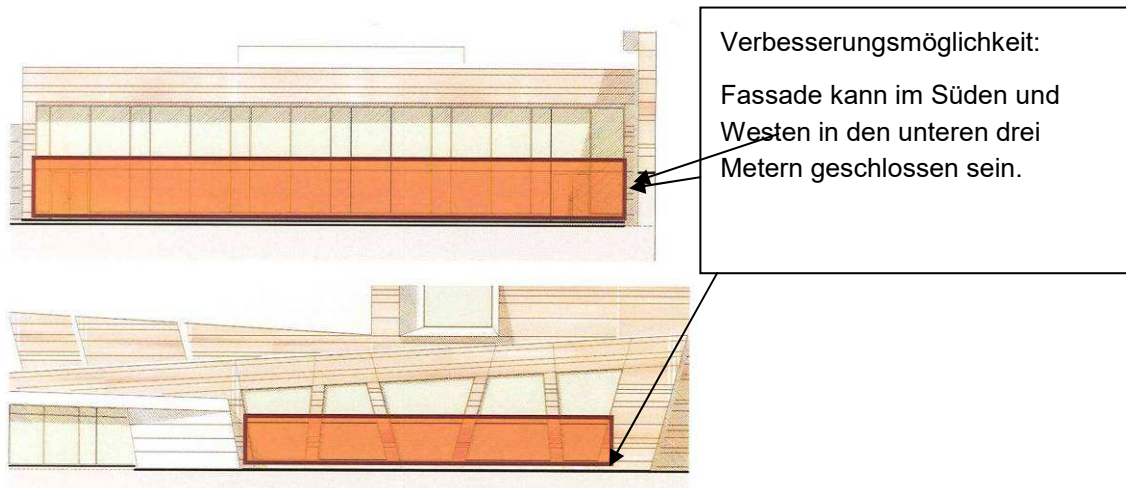


Abbildung 34: Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich des Hallenteils West

Verglasungsfläche im südwestlichen Teil des Bades (vgl. Abbildung 35) wurde aus folgenden Gründen nicht reduziert:

- Der positive, helle Raumeindruck und der sehr gute Außenbezug (insbesondere im Liege-/Erholungsbereich) sollen erhalten bleiben.
- Die durch die großen Flächen entstehenden solaren Gewinne tragen zur Reduzierung des Jahresheizwärmebedarfes bei.
- Durch eine verstärkte Bodenreflexion gelangt mehr indirektes Licht in die Tiefe des Raumes



Abbildung 35: Ansicht des Schwimmbades von Südwesten (Quelle: ntspv)

5 Gebäudetechnik

5.1 Allgemeines

Die Verzahnung der verschiedenen technischen Gewerke ist bei keinem anderen öffentlichen Bauwerk derartig komplex wie in einem Hallenbad. Hier haben selbst kleinste Änderungen in Teilbereichen, wie z.B. die Anzahl der Sanitärobjekte, Änderung der Überlaufrinne am Becken, Einbau zusätzlicher Wasserattraktionen, etc. Auswirkungen fast auf alle anderen technischen Gewerke.

So bringt z.B. der Einbau einer zusätzlichen Kinderrutsche eine deutliche Veränderung der Verdunstungsmenge, diese wiederum hat Einfluss auf den Außenluftanteil und die Zuluftmenge, die wiederum auf die Wärmerückgewinnung sowie auf den Platzbedarf im Technikbereich bis hin zur Dimensionierung der Außenluftansaugung, die ihrerseits Einfluss auf die Architektur nimmt.

Vor diesem Hintergrund wurden in diversen Planungsbesprechungen immer wieder versucht mit sämtlichen beteiligten Fachplanern eine Optimierung des Gebäudes inkl. der Anlagentechnik zu erreichen.

Hierbei wurden bei der grundsätzlichen Auswahl der einzelnen Konzepte weder allein die Investitionskosten mit dem günstigsten Preis noch die beste energetische Variante berücksichtigt. Sondern gerade die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Anlagen innerhalb des Gesamtkomplexes stand im Vordergrund.

5.2 Energieversorgung, Primärenergiefaktoren

Im Gebäude des Schwimmbades befinden sich zwei Blockheizkraftwerke, von denen eines mit Biogas und eins mit Erdgas betrieben wird. Die BHKWs sind Teil des Fernwärmenetzes der Stadt Lünen, für welches aufgrund eines hohen Anteils regenerativer Energien ein sehr niedriger Primärenergiefaktor von 0,17 ermittelt wurde (vgl. [Wibera 2010]). Das Bad bezieht einen Teil der benötigten Wärme aus dem Fernwärmenetz.

Da im Bad ein hoher Bedarf an Niedertemperaturwärme besteht, kann sowohl Kondensationsabwärme der BHKWs (Brennwertnutzung) als auch Abwärme aus dem Aufstellraum der BHKWs genutzt werden. Die Nutzung dieser Abwärme ist ausschließlich in Verbindung mit dem Bad möglich. Daher wird der Primärenergiefaktor für diese Abwärme zu Null angesetzt.

Der Primärenergiefaktor für Strom wird den Regelungen der aktuellen Energie Einsparverordnung (EnEV) entsprechend mit 2,6 angenommen.

5.3 Lüftungstechnik und Wärmerückgewinnung

5.3.1 Auslegung

Die Anzahl der Lüftungsanlagen wurde entsprechend der verschiedenen Zonen innerhalb des Schwimmbades, aufgeteilt nach Temperatur bzw. Luftqualität ausgewählt. Insgesamt ergaben sich für das geplante Lippe Bad 6 verschiedene Zonen. Dieses sind im Einzelnen (vgl. Abbildung 36):

- Kinder- / Warmbecken
- Lehrschwimmbecken
- Sportbecken (4 Bahnen, Neubau)
- Sportbecken (5 Bahnen, Altbau)
- Umkleide und Duschbereich
- Eingangsbereich, Schwimmmeisterraum, Sanitätsraum, Personal- und Nebenräume

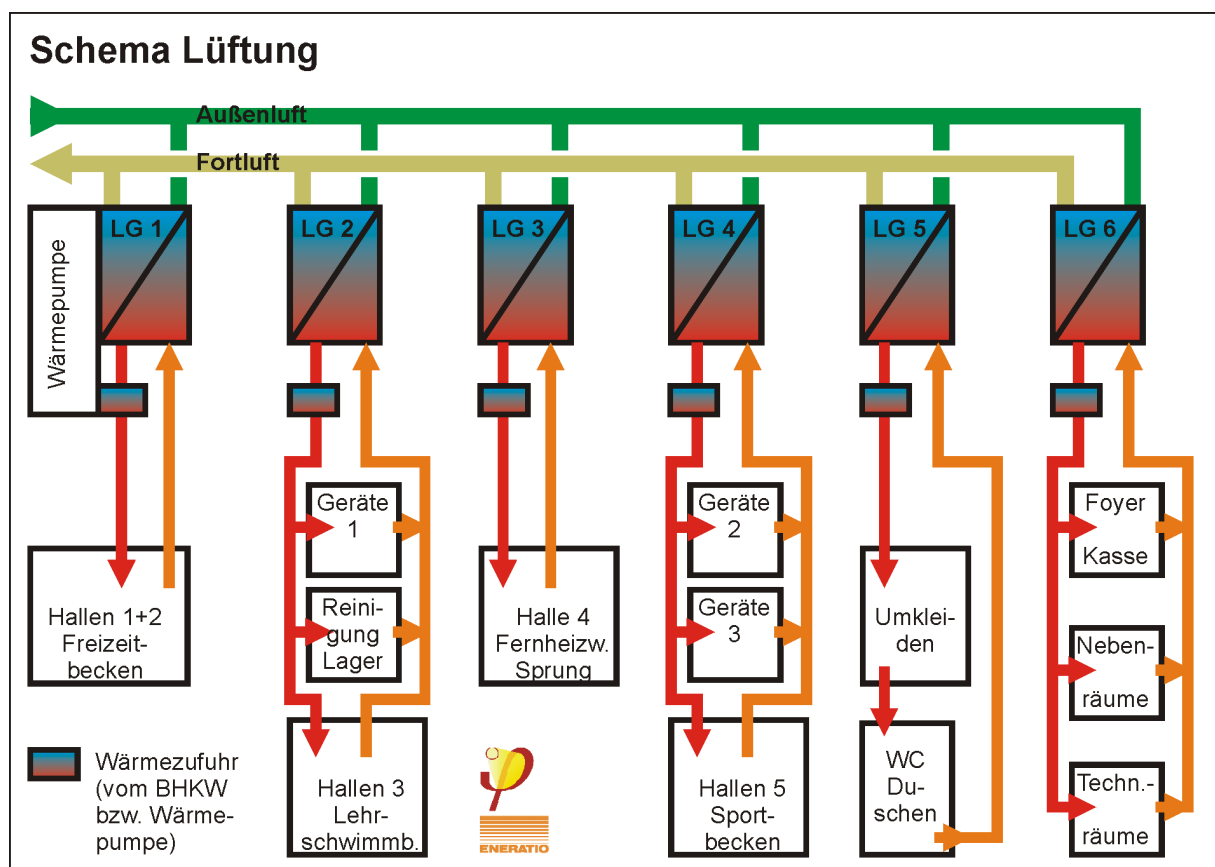


Abbildung 36: Schematische Darstellung der Lüftung im Lippebad (Grafik: PHI)

Um die Wärmebrücken im Bereich der Frischluftansaugung und des Fortluftauslasses sowie der kalten Lüftungsleitungen möglichst weit zu reduzieren, wurde eine zentrale Außenluftansaugung / Fortluft mittels Lüftungstürmen geplant. Die Außenluft wird anschließend durch unter der gedämmten Kellersohle verlegte GFK Rohre direkt an die jeweiligen Lüftungsgeräte geführt. Ebenso wird die in der Wärmerückgewinnung (teilweise mit Verdampfern) abgekühlte Fortluft auf kurzem Wege aus der Passivhaushülle und zum Fortluftturm geführt. Hiermit werden große Flächen kalter Außenluftkanäle innerhalb des Gebäudes vermieden, die sonst wegen erheblicher Dämmstärken einen großen Platzbedarf im Keller und hohe Investitionskosten für die diffusionsdichte Dämmung zur Folge hätten.

Jedes Lüftungsgerät verfügt über eine rekuperative Wärmerückgewinnung bestehend aus einem Propylen-Wärmetauscher. Das Lüftungsgerät 1 in Abbildung 36 ist zusätzlich mit einer Wärmepumpe ausgestattet. Hiermit wird die Fortluft deutlich unter den Taupunkt abgekühlt und auskondensiert. Ein drehzahl geregelter Verdichter bringt die so gewonnene latente Kondensationswärme mit einer Leistungsziffer von mindestens 5 auf ein Temperaturniveau von 40°.

Aufgrund des sehr niedrigen Primärenergiefaktors der gesamten Wärmeversorgung durch den Einsatz von Biogas in einem Blockheizkraftwerk und den hohen Investitionskosten für die Wärmepumpen, wurde die Wärmepumpenausrüstung nur für das Lüftungsgerät 1 vorgesehen, da hier durch Attraktionen (Rutsche, Massagedüsen, Spieltiere) und Nutzerverhalten (Freizeitbecken, Spaß, Kinder) die höchsten Verdunstungen zu erwarten sind. Zudem ist dieser Hallenbereich gut vom Rest des Bades abtrennbar, sodass messtechnische Untersuchungen der Wärmepumpenanlage gut möglich werden, vgl. Abbildung 37.

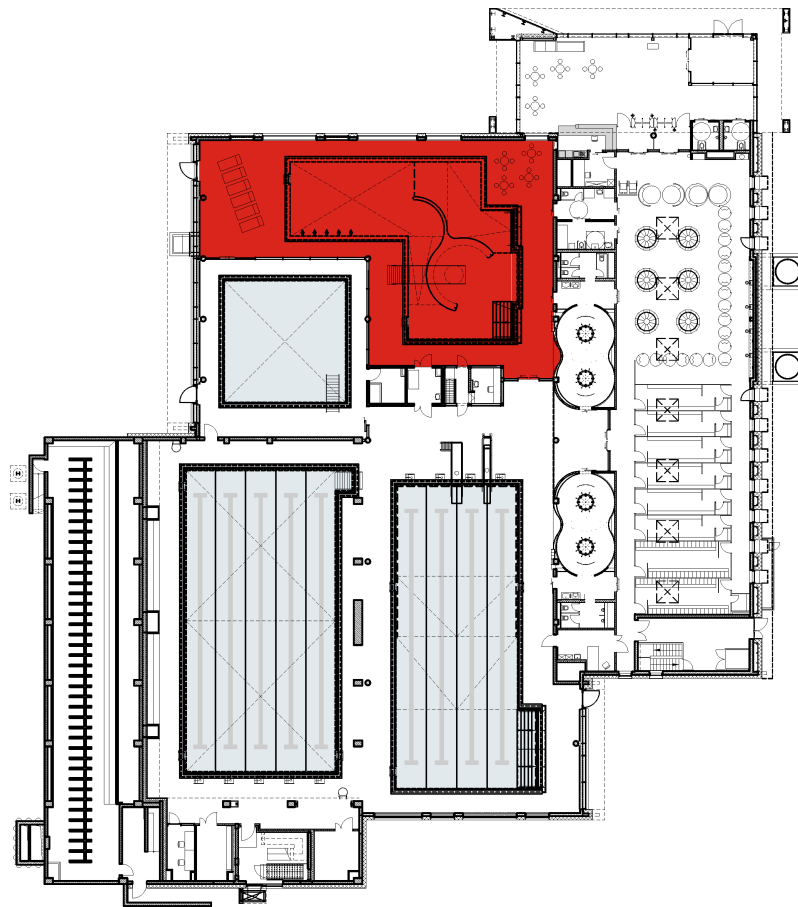


Abbildung 37: Bereich, der über die Wärmepumpe versorgt wird (rot markiert) (Grafik: PHI, ntspv)

Die Wärmerückgewinnung ist für die gesamte nach KOK-/VDI-Richtlinie benötigte Außenluftmenge (ca. 60.000 m³/h) dimensioniert. Dazu wurde für die Hallenlüftungsgeräte die Verdunstungsmenge in Abhängigkeit der Nutzung und der Beckenwassertemperatur bestimmt. Die dafür benötigte maximale Außenluftmenge ergibt sich im Sommerfall bei einem absoluten Feuchtegehalt von 14,3 g/kg innerhalb der Schwimmhalle. Die Anlage soll jedoch mit deutlich geringeren durchschnittlichen Luftwechselln betrieben werden. Daraus resultieren erheblich verbesserte Wärmerückgewinnungsgrade über einen Großteil des Jahres.

Im Allgemeinen wird die Hallenfeuchte über den Außenluftanteil geregelt. Um die Zuluftmenge im Hallenbereich konstant zu halten, wird mehr oder weniger Hallenluft beigemischt. So wird eine ausreichende Luftdurchströmung der Halle erreicht.

Für die zulässige Luftfeuchte und damit für den benötigten Außenluftwechsel ist die minimale Oberflächentemperatur der Außenbauteile maßgebend. Je höher diese Temperatur ist, umso höher liegt der Taupunkt und erlaubt damit eine höhere bauschadensfreie Luftfeuchte. Je höher die Luftfeuchte ist, umso weniger Wasser verdunstet, umso weniger Heizenergie muss dem Beckenwasser zugeführt werden. Durch die geringere Entfeuchtungsleistung kann auch der nachzuerwärmende

Außenluftanteil deutlich reduziert werden. Energieeffizient ist es daher, höhere Luftfeuchten zuzulassen.

Im Betrieb soll festgestellt werden, inwieweit die absolute Feuchte angehoben werden kann, ohne dass dies zu einer Beeinträchtigung des Behaglichkeitsempfindens der Badegäste und des Betriebspersonals führt. An diesen Betriebspunkt wird sich über die vorhandenen Hallenfeuchte- und -temperaturfühler über eine Reduktion des Außenluftanteils herangetastet.

5.3.2 Regelung

Die Luftverteilung innerhalb der einzelnen Lüftungsbereiche erfolgt mittels einstellbarer Weitwurfdüsen, die zum einen in Wurfrichtung, zum anderen gruppenweise über Regelklappen eingestellt werden können. Hierüber soll vor allem im Badbereich die Zuluftmenge reduziert werden, um dann in einer weitergehenden Untersuchung zum einen die Schadstoffbelastung der Luft, zum anderen die Luftverteilung innerhalb der Halle genauer untersuchen zu können. Hierzu sind einzelne Zuluftdüsenboxen mit Jalousieklappen ansteuerbar, die Luftmenge je Halle ist in 20-25%-Schritten reduzierbar. Durch die individuelle Einstellbarkeit der Luftauslässe können zum einen große Wurfweiten innerhalb der Halle ohne Zugerscheinungen realisiert, zum anderen können auch evtl. kondensatkritische Punkte an der Außenfassade (z.B. Türen, RWA-Öffnungen) direkt angeblasen werden.

Das Regelkonzept sieht vor, die Lüftungsanlage außerhalb der Betriebszeiten komplett abzuschalten und den Feuchteanstieg an den gefährdeten Bauteilen zu überwachen. So muss die Lüftungsanlage nur bei Überschreiten eines Grenzwertes mit einem hohen Außenluftanteil angefahren werden, um die Feuchte abzuführen. Ist eine unkritische Feuchte erreicht, wird die Anlage wieder abgeschaltet.

Ähnlich angelegt ist die Regelung der Temperatur, wobei die Lüftung lediglich bei Unterschreiten eines eingestellten Sollwertes im vollen Umluftbetrieb, d.h. ohne Außenluftanteil, Wärme einbringt, um die Temperatur wieder einzustellen.

Die Be- und Entlüftung des Eingangsbereiches sowie der Umkleiden / Duschen erfolgt ohne Umluftanteil aufgrund des Anschlusses des WC-Bereiches.

Hier ist zum einen geplant die warme, trockene, unbelastete Abluft des Umkleidebereiches nachzuerwärmen und dann in die Duschen zur Entfeuchtung zu geben. So kann ein erheblicher Energieanteil, der zur Erwärmung der Duschenluft nötig wäre, eingespart werden. Gleichzeitig werden die benötigten Raumkonditionen sicher eingestellt.

Im Bereich des Warmbeckens wird eine besonders innovative Lösungsvariante eingesetzt: Zunächst wird über einen Plattenwärmetauscher Wärmeenergie von der Fortluft auf die Frischluft übertragen. In der Abluft sind jedoch noch erhebliche Wärmemengen in Form von Wasserdampf enthalten. Dieser wird mittels einer Wärmepumpe auskondensiert und so die in der Abluft enthaltene Enthalpie zurückgewonnen. Diese Variante wurde bereits durch das Passivhausinstitut im Zuge des Grundlagenberichtes [PHI 2009] erwähnt und berechnet. Hiermit sind bei exakter Planung der Wärmepumpenanlagen und der statischen Rückgewinnung Einsparungen gegenüber dem vorgenannten System grundsätzlich zu erreichen, allerdings sind hierfür auch die größeren Investitionskosten notwendig.

Auf Grund der hier im Lippe Bad speziellen Voraussetzungen, bei denen auch Abwärme aus Blockheizkraftwerken zur Verfügung steht, wird nicht das gesamte Bad mit der beschriebenen Technologie ausgerüstet.

5.4 Reduzierung der Verdunstung: Wesentliches Energiesparpotential erschlossen

Bereits unter 5.3.1 wurde erläutert, dass im Zuge des Betriebes die Raumluftfeuchte angehoben wird, um die Verdunstung zu reduzieren und damit den Außenluftwechsel und die zuzuführende Verdunstungsenergie ebenfalls zu minimieren.

Weitere Untersuchungen wurden zur Abdeckung des Beckens außerhalb der Betriebszeiten durchgeführt. Wenn die Feuchte nachts zu lassen bis in den Kondensationsbereich an einzelnen Gebäudebauteilen (Schlechtwertregelung) ansteigen kann, wird die Ruheverdunstung schon sehr weit abgesenkt, dass auf die kosten- und wartungsintensive Abdeckung verzichtet werden kann. Dies ist in der Regelung so vorgesehen.

Des Weiteren ist geplant, die Umwälzung der Becken außerhalb der Betriebszeiten auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren. Hierbei wird die zugeführte Wassermenge unterhalb des Beckenwasserspiegels und des Schwallwasserbehälters bzw. der Umwälzpumpe direkt zugeführt und unterhalb der Wasseroberfläche wieder abgezogen. So wird das Überlaufen in die Überlaufrinne vermieden und die damit einhergehende Verdunstung außerhalb der Betriebszeiten ohne großen technischen Aufwand reduziert. Während dieses Nachtbetriebes werden grundsätzlich alle Beckenwasser-Hygieneparameter überwacht und bei Bedarf die Umwälzung in Normalbetrieb umgestellt.

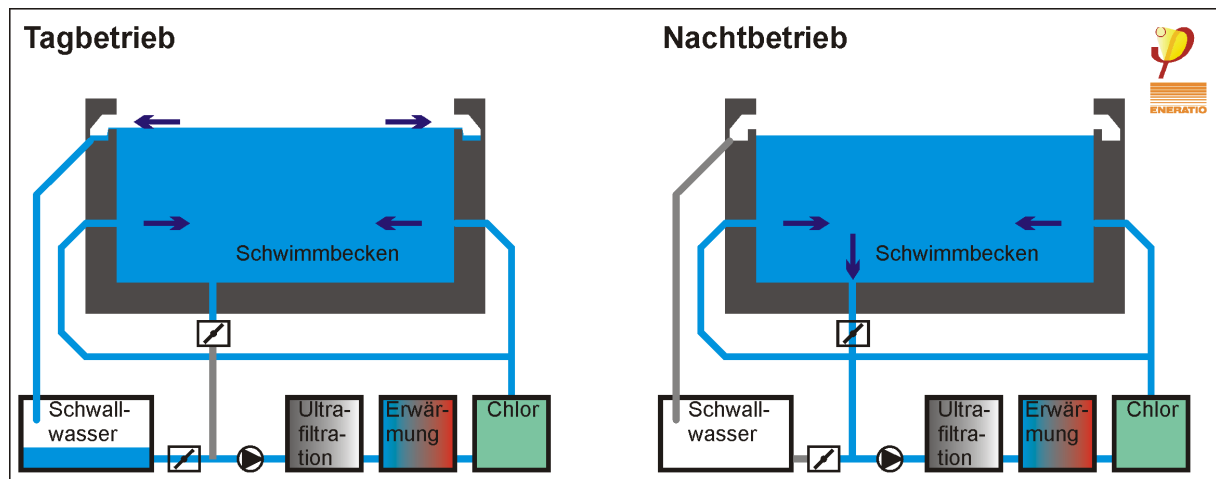


Abbildung 38: Schema der Beckenhydraulik im Tag- und Nachtbetrieb (Grafik: PHI)

5.5 Beckenwasser- und Schwimmbadtechnik

5.5.1 Optimierung der Hydraulik

Zur Reduktion der Rohrreibungsverluste werden strömungsgünstige Rohre aus HDPE eingesetzt und strömungsungünstige Formteile wie 90°-Winkel und T-Stücke weitestgehend vermieden und durch Bögen großer Radien und Y-Stücke ersetzt.

Für die Beckenhydraulik ist eine Horizontaldurchströmung (Strahlenturbulenz) vorgesehen. Mit dieser Technik lässt sich auch bei den geplanten geringen Wasserwechselraten (Reduktion durch Ultrafiltration und durch Anpassung des Volumenstroms an die tatsächliche Personenbelegung der Becken) erfahrungsgemäß eine gute Durchmischung erreichen.

Das Einströmsystem wird dabei an den beiden Längsseiten der Becken im unteren Drittel installiert, die Einströmdüsen werden auf den Nennvolumenstrom bemessen, sind aber im Betrieb einzeln regelbar.

Um den Stromeinsatz weiter zu minimieren, wurde hier geplant den Schwallwasserbehälter so hoch wie möglich aufzustellen, um die von den Pumpen zu leistende Förderhöhe zu reduzieren.

Sämtliche Becken erhalten einen hochliegenden Wasserspiegel, da die Beckenkante gleichzeitig als Sitzmöglichkeit für Badegäste genutzt werden kann und so weitere Einrichtungen wie Wärmebänke etc. entfallen können. Die Überlaufrinne ist als Wiesbadener Rinne mit einer Breite von 10 cm vorgesehen, in der Rinnenabläufe DN 80 geplant sind. Nach Abstimmung mit dem Gemeindeunfallversicherer benötigen diese Rinnensteine selbst keine weitere Rostabdeckung, wodurch Verwirbelung und Verdunstung vermieden werden. Lediglich die Rinnenabläufe selbst erhalten eine

gewölbte und gelochte Abdeckung. Aufgrund der relativ kleinen Rinne wird die Fallhöhe gering gehalten und das überlaufende Wasser schnell in die sich darunter befindliche Rinnensammelleitung geführt. Mit beiden Maßnahmen soll die Verdunstung des Beckenwassers reduziert werden.

5.5.2 Beckenwassererwärmung: Abwärmenutzung

Für die Beckenwassererwärmung steht zum einen die Fernwärme der Stadtwerke Lünen zur Verfügung, die in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird. Zum anderen wird in jedem Beckenwasserkreislauf ein Niedertemperaturwärmetauscher eingesetzt, der die Abwärme der Raumabluft der BHKWs nutzen wird.

5.5.3 Filtration: Ultrafiltration bringt Vorteile

Im Zuge der Entwurfsplanung wurden verschiedene Filtersysteme geplant und in einem Gesamtkosten- / Nutzenvergleich gegenüber gestellt, vgl. Abbildung 39. Hierbei wurden im Wesentlichen 3 Filtersysteme betrachtet:

- Druckfiltration über Kiesfilter (Stahlfilter)
- Niederdruckfiltration über Kiesfilter
- Ultrafiltration (UF)

Bei der Auswertung wurden die jeweiligen Belastbarkeitsfaktoren der zurzeit gültigen DIN-Norm sowie der zurzeit in Diskussion stehende Entwurf der DIN 19346, Teil 6, Ultrafiltrationsanlagen berücksichtigt. Bei der Ultrafiltration wird aufgrund des deutlich verbesserten Filtrationsergebnisses nur die halbe Umwälzmenge je Becken gegenüber den anderen in der DIN genannten Verfahren benötigt. Dies hat Einfluss auf Schwallwasserbehältergröße, Dimensionierung der Rohrleitung, Anzahl der Reinwasser- und Rinnenstutzen und auf die elektrische Leistung und den Energieverbrauch der Umwälzpumpen. Die vorgenannten Punkte, erweitert um eine Bewertung des Platzbedarfs, der für die Ultrafiltration deutlich geringer ist als für die Druck- oder Niederfiltration, wurden bewertet. Als Grundlage des Gesamtkostenvergleiches dienen hierzu Angaben des Bauherrn bzgl. der Energiekosten für Strom, Wärme, Frischwasser, Abwasser/Regenwasser. Über alle Varianten stellte sich für das Lippe Bad in Lünen eine Ultrafiltrationsanlage als das günstigste Filtrationsverfahren heraus. Hier ist die Filteranlage selbst teurer als die anderen Varianten. Aber durch die Ersparnisse bei den Nebenaggregaten, Einbauteilen und vor allem bei dem umbauten Raum ergibt sich hierfür das beste Gesamtergebnis.

Die Ultrafiltration entspricht nicht den heutigen allgemein anerkannten Regeln der Technik für die Badewasseraufbereitung, es wird aber zur Zeit an einem weiteren Teil der Wasseraufbereitungsnorm DIN 19643 gearbeitet, in dem dieses Filtrationsverfahren beschrieben werden soll.

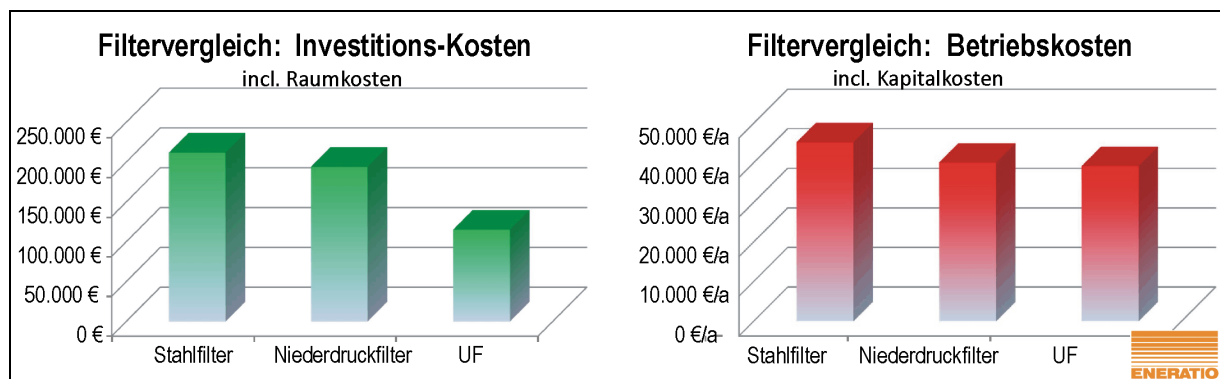


Abbildung 39: Gegenüberstellung der untersuchten Filtervarianten hinsichtlich ihrer spezifischen Investitions- und Betriebskosten (Quelle: ENERATIO)

Der Vorteil der Filtrationstechnik ist zum einen der geringe Platzbedarf, zum anderen eine deutlich verbesserte Filterwirkung, die eine Gesamtreduzierung der Umwälzmenge möglich macht. Mit dieser Reduzierung gehen einher eine geringere Chlorzugabe und ebenso ein geringerer Bedarf an Flockungs- und pH-Wert-Korrekturmitteln.

Für die Ultrafiltration sind Kellerhöhen von 2,50 m ausreichend, was bei den Baukosten zu erheblichen Reduzierungen führt.

Durch die geringere Chlorzugabe wird das THM-Bildungspotential reduziert. Sollte trotzdem in einer zukünftigen Badewasserverordnung ein evtl. genannter Grenzwert nicht eingehalten werden, kann ein Aktivkohlefilter in einen Teilstrom nachgeschaltet werden. Zur Reduzierung der Chloramine wird nach der Ultrafiltration ein Mitteldruck-UV-Brenner installiert. Mit dieser Technik wurden bereits gute Erfahrungen in anderen Hallenbädern gemacht.

5.5.4 Chlorung: Sicherste und behaglichste Lösung gewählt

Als verschiedene Desinfektionsverfahren wurden folgende Möglichkeiten zur Chlorung untersucht und gegenüber gestellt.

1. Chlorgas - Vollvakuumanlage
2. Membranzellenelektrolyse
3. Inline-Elektrolyse

Für alle Varianten wurde eine mittlere Beckenbelastung über das gesamte Jahr angesetzt und so der Desinfektionsmittelbedarf ermittelt.

Beim *Chlorgasverfahren* wird das Chlorgas in Druckbehältern in einem dafür vorgesehenen Chlorgasraum gelagert und über Treibwasser Injektoren dem jeweiligen Beckenwasserkreislauf zugeführt. Die Variante Chlorgasverfahren ist in Bezug auf Investitions- und Betriebskosten mit Abstand die günstigste, birgt aber aufgrund der Druckbehälter im Havariefall ein nicht zu kalkulierendes Risiko.

Bei der *Membranzellenelektrolyse* wird Natriumchlorid in Tablettenform vor Ort gelagert und hieraus im Membranzellenelektrolyse-Verfahren eine wässrige Chlorlösung erstellt, die dann mittels Dosierpumpen dem jeweiligen Beckenwasserkreislauf zugeführt wird. Die Investitionskosten und Betriebskosten liegen im mittleren Rahmen. Aufgrund der relativ geringen Konzentration der wässrigen Lösung sind große Motordosierpumpen notwendig, die einen zu beachtenden Strombedarf haben. Bei undichten Dosierleitungen kann es zu erheblichen Schäden in der gesamten technischen Anlage kommen.

In der 3. Variante wurde das *Inline-Elektrolyseverfahren* untersucht, bei dem das gesamte Beckenwasser mit einem leichten Salzgehalt von 0,4% gefahren wird. Die Elektrolyse findet direkt innerhalb der Reinwasserleitung auf dem Weg zum Schwimmbecken in Abhängigkeit der jeweiligen Personenbelastung statt. Bei dieser Variante geht praktisch keine Gefahr von der Chlorungsanlage aus. Der bei der Elektrolyse entstehende Wasserstoff wird über die Hallenlüftung abgeführt. Dieses wird durch ein unabhängiges Gutachten belegt. Nachteile dieser Variante sind die hohen Investitions- und Betriebskosten, die auch daher rühren, dass sämtliche technischen Aggregate und beckenwasserberührten Teile seewasserbeständig ausgeführt werden müssen, da es durch den Salzgehalt zu deutlich höheren Chloridkonzentrationen an den jeweiligen Bauteilen kommt.

Der Bauherr hat dieses Chlorungsverfahren bereits erfolgreich in mehreren seiner Bäder eingesetzt und dafür auch einen Innovationspreis für die Vermeidung des

Umganges mit Chlorgas erhalten. Des Weiteren schätzen die Lüner Badegäste den leichten Salzgehalt als sehr angenehm.

Aus den vorgenannten Gründen wurde die Entscheidung nicht nach dem wirtschaftlichsten, sondern nach dem für die Badegäste angenehmsten und auch aus sicherheitstechnischen Gründen besten Chlorungsverfahren getroffen.

5.6 Heizungstechnik

5.6.1 Wärmebedarf: Wesentlich reduziert

Auf Grund der geplanten hocheffizienten Wärmerückgewinnung und der Passivhaushülle verliert der Lüftungswärmebedarf, der über die Fernwärmeheizung gedeckt werden muss, gegenüber einem herkömmlichen Bad an Bedeutung. Wesentlich ist nun die regelmäßige Energiezufuhr für die Verdunstungswärme der Becken sowie des Ersatzes des Filterspülabwassers und die Brauchwarmwassererwärmung.

Bei Zugrundelegung der KOK-Richtlinien ist für Duschwasser, Beckenwasser und Lüftung eine Anschlussleistung von 675 kW in Summe zur Verfügung zu stellen. Diese Leistung wird an einem kalten Wintertag (-15°C) benötigt. Gleichzeitig ist diese Leistung ausreichend, um die Schwimmbecken innerhalb von 24 Stunden auf die benötigte Temperatur (28 bzw. 32°C) zu bringen. Bei de Ereignisse dürften allerdings nicht gleichzeitig stattfinden.

5.6.2 Wärmeversorgung: Brennwertnutzung

Die Wärmeversorgung des Hallenbades erfolgt im Wesentlichen aus dem Fernwärmeanschluss der Stadtwerke Lünen (vgl. Abbildung 40). Das vorhandene Fernwärmesystem wird mittels einer Übergabestation indirekt an das Hausnetz angekoppelt. Die größten Verbraucher sind die Heizregister zur Erwärmung der Hallenluft (mit der auch der Transmissionswärmebedarf gedeckt wird) und der Wärmebedarf der Becken.

Der gesamte Rücklauf des Bades soll nicht höher als 40°C sein, damit die beiden nahegelegenen Blockheizkraftwerke im stabilen Brennwertbetrieb arbeiten können (Abgaskondensationstemperatur unterschreiten). Da die Einspeisetemperatur für die Fernwärme deutlich höher liegt, können Blockheizkraftwerke zu diesem Zweck nicht im Brennwertbetrieb arbeiten. Es ist hervorzuheben, dass nur die unmittelbare Nähe der BHKWs zum Schwimmbad in Verbindung mit der niedrigen Rücklauftemperatur

die Möglichkeit des Brennwertbetriebes eröffnet. Somit kann ein Großteil des Wärmebedarfes des Bades aus einer Quelle gedeckt werden, die normalerweise an die Umwelt abgegeben würde.

In einem weiteren Ausbauschnitt war angedacht, eine solarthermische Anlage zur Brauchwasservorerwärmung zu installieren. Dabei ist zu beachten, dass hohe solare Deckungsraten (z.B. 40%, wie im Wohnbaubereich üblich) für ein Hallenschwimmbad weder sinnvoll noch wirtschaftlich sind, da hier große Duschwassermengen in kurzen Zeiten benötigt werden. Insofern kann mit einer solarthermischen Anlage lediglich eine Unterstützung im wirtschaftlichen Rahmen erfolgen. Der Großteil der Brauchwarmwasserwärme wird aus dem Fernwärmenetz bezogen. Eine Detailbetrachtung des gesamten Wärmekonzepts hat ergeben, dass im Lippe Bad aus Effektivitätsgründen zu Gunsten einer vergrößerten Photovoltaikanlage auf Wärmekollektoren verzichtet wird.

5.6.3 Wärmeverteilung: Keine statischen Heizflächen

Die Wärmezufuhr erfolgt ausschließlich über die Lüftung und das Beckenwasser. Statische Heizflächen sind nicht vorgesehen.

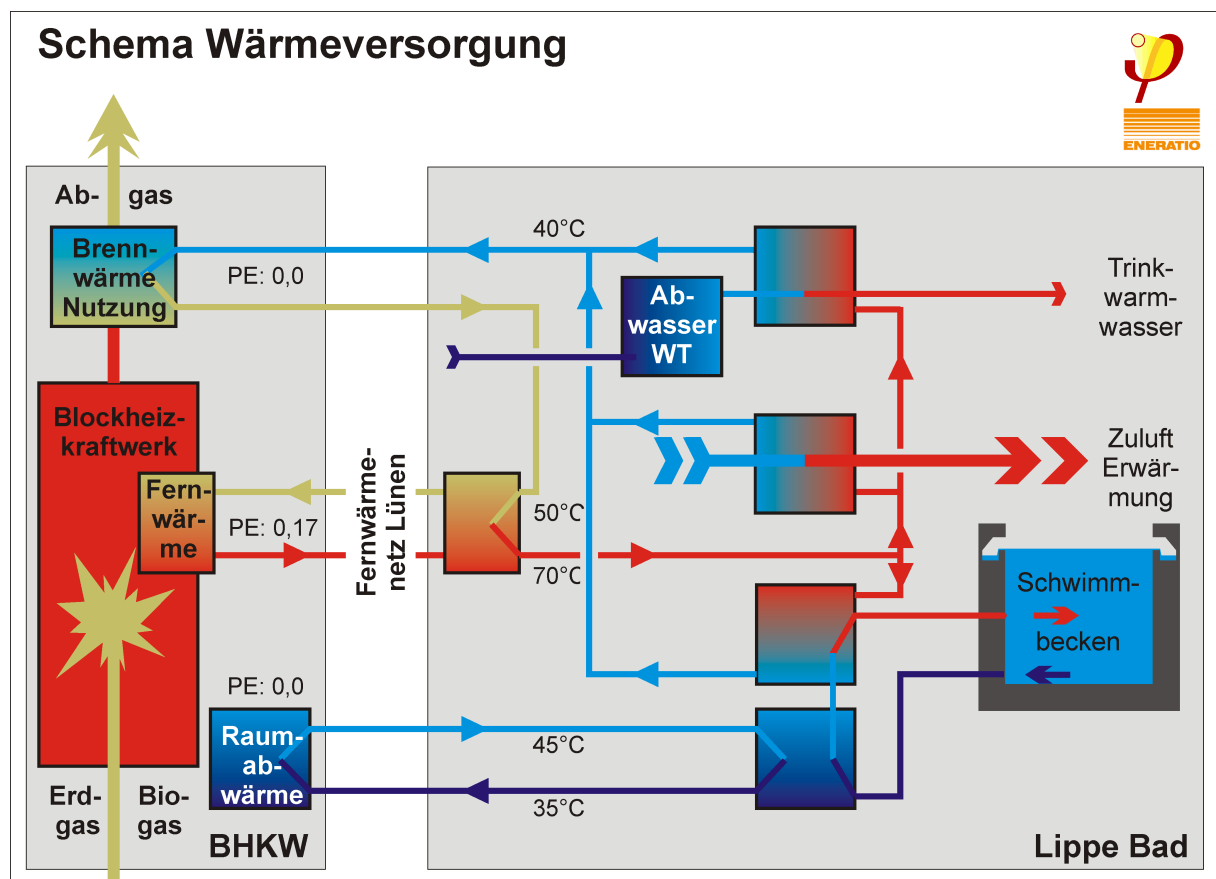


Abbildung 40: Schema der Wärmeversorgung über das Blockheizkraftwerk (Grafik: PHI)

5.7 Trink-/Brauchwasser, Abwasser, Regenwasser

5.7.1 Spülabwasser: Kontinuierlicher Anfall ermöglicht Recycling

Die Spülabwassermenge einer Ultrafiltrationsanlage zur Beckenwasseraufbereitung ist mit der einer normalen Druckfiltration vergleichbar. Durch die Ultrafiltration wird die Abwassermenge also zunächst nicht reduziert. Druckfilter werden in der Regel zweimal wöchentlich gespült. In diesen Phasen fällt Abwasser konzentriert in großen Mengen an. Die Ultrafiltration wird bis zu 8 mal pro Tag mit erheblich kleineren Wassermengen gespült. Das Abwasser fällt gleichmäßiger an und kann quasi kontinuierlich für eine Weiternutzung aufbereitet werden.

Das Filterspülabwasser der Beckenwasseraufbereitungsanlage wird in einem Zwischenbehälter gesammelt und von dort aus über eine weitere Vorfiltration mit nachgeschalteter Ultrafiltration aufbereitet und dem Schwallwasserbehälter als Frischwasserersatz wieder zugegeben. Dieses Filtrationswasser ersetzt ca. 70 % (9.000 m³/a) des normalerweise notwendigen Frischwasserbedarfs der Schwimmbecken.

Durch Spülabwasseraufbereitung werden neben dem Frischwasserzusatz auch erhebliche Wärmeenergiemengen eingespart, da das aufbereitete Wasser während der Filterung nur wenig abkühlt.

Das restliche Filterspülabwasser sowie das Filterabspülwasser aus den nachgeschalteten Aufbereitungsanlagen werden dem Absetzbehälter zugeführt. In diesem Behälter kann sich das Spülabwasser in einem Zeitraum von 2 bis 4 Stunden beruhigen (absetzen). Das sich im oberen Bereich der Absetzbehälter befindende Klarwasser wird abgezogen und über eine weitere Aufbereitungsanlage geführt. Diese besteht im Wesentlichen aus einem Kiesfilter und einem nachgeschalteten Aktivkohlefilter. Durch diese Behandlung wird das Filterabspülwasser soweit aufbereitet, dass es direkt in die nahe Lippe eingeleitet werden kann. Ein Teil des Filterabspülwassers (ca. 1.200 m³/a) wird über eine weitere UV-Aufbereitungsanlage geführt und hausintern zur WC und Urinalspülung genutzt. Durch das Recycling, die Weiterverwertung und die Direkteinleitung werden erhebliche Schmutzwassermengen vermieden und die kommunale Kläranlage deutlich entlastet.

Die beantragten Einleitungsgenehmigungen der zuständigen Behörden (Lippeverband, Kreis, Stadt) liegen bereits vor.

Im Lippe Bad ist das gesamte Beckenwasser auf Grund des gewählten Chlorungsverfahrens mit 0,4%-iger Sole versetzt. Da das Salz nicht durch die Ultrafiltration entfernt wird, ist es auch im Abwasser enthalten. Nach Klärung mit

diversen Herstellern ist die Beaufschlagung von Druckspülarmaturen an den WC-/Urinalanlagen mit dem solehaltigen Abwasser möglich. Um Korrosionserscheinungen weitestgehend zu minimieren, ist der Einsatz von Kunststoffrohr für diese Druckleitungen vorgesehen. Des Weiteren sind Maßnahmen einzuhalten, wie die Verlegung der Rohre in einem komplett von Trinkwassersystem getrennten Kreis, sowie mit einer deutlichen optischen Unterscheidung um Queranschlüsse sicher zu vermeiden. Zusätzlich werden sämtliche Zapfstellen mit dem Warnhinweis „Kein Trinkwasser“ beschriftet.

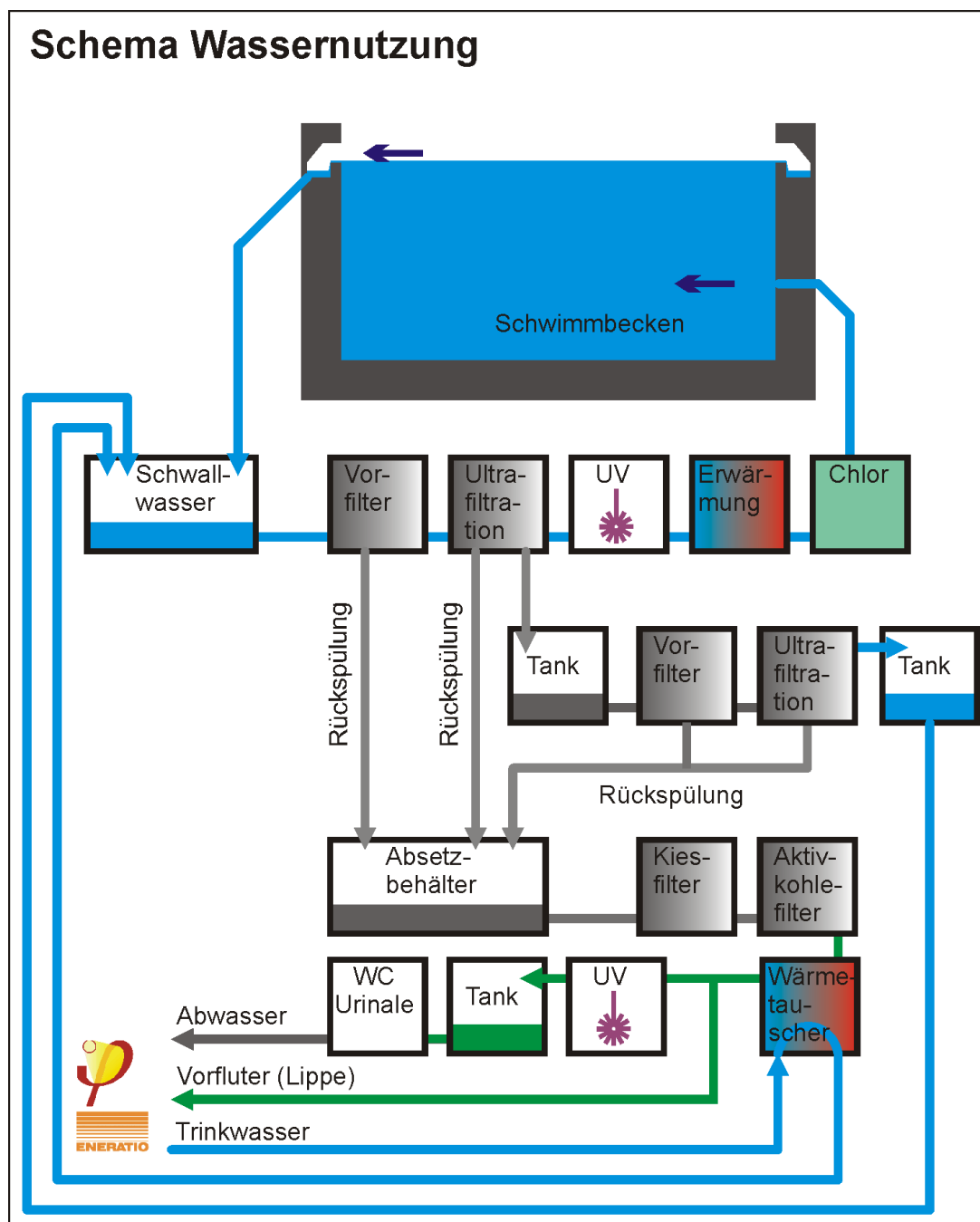


Abbildung 41: Schema zur Filtration und zum Wasserrecycling (Grafik: PHI)

5.7.2 Regenwassernutzung: Wegen des Recycling-Konzeptes nicht sinnvoll

Zum Einsatz innerhalb der WC-/Urinalspülungen wurde ebenfalls eine Regenwassernutzungsanlage angedacht, die in einer außen liegenden Zisterne sämtlich anfallendes Dachregenwasser einfängt und von dort aus über eine Druckerhöhungsanlage den infrage kommenden Armaturen zur Verfügung stellt. Wie bereits im vorherigen Absatz beschrieben, ist eine zweifache Nutzung des zwingend vorhandenen Spülabwassers möglich. In diesem Zusammenhang wurde die Regenwassernutzungsanlage als wirtschaftlich nicht sinnvoll verworfen.

5.7.3 Brauchwasser: Konsequenter Einsatz wassersparender Technik

An allen Trinkwasserzapfstellen wird Wert auf Wasser sparende Armaturen gelegt. So sind an den Handwaschbecken, sowie an den Duscharmaturen und Urinalen elektronische, bedarfsabhängig gesteuerte Auslöseeinheiten vorgesehen. Diese sind gerade im öffentlichen Bereich hygienisch einwandfrei zu halten. Im Bereich der Duschen, die im Allgemeinen der größte Warmwasserverbraucher im Hallenbad sind, wurden Armaturen mit einer Sensortechnik geplant, die beim Verlassen eines Einwirkbereiches die Duschwasserzufuhr nach einer einstellbaren Nachlaufzeit automatisch abstellen. Es werden Duschköpfe mit einem Durchfluss von 6 l/min eingesetzt. Dies ist eine Reduzierung von 50% gegenüber normalerweise eingesetzten Duschköpfen. Die geringere Wassermenge wird durch ein spezielles Verwirbelungssystem mit Luft einsaugung ausgeglichen, so dass es zu keinen Einschränkungen im Duschkomfort kommt. Im Bereich der WC-Anlagen werden Druckspüler mit 2-Mengenautomatik eingesetzt, die mittels elektronischer Taster ausgelöst werden können. Auf Grund einer deutlichen Beschriftung („KLEIN“/„GROSS“) soll die notwendige Spülung durch den Nutzer gewählt werden.

Durch den konsequenten Einsatz der Wasserspartechnik kann die gesamte Installation inkl. der Brauch- und Warmwassererwärmungsanlage kleiner dimensioniert werden.

5.7.4 Trinkwasserhygiene: Ultrafiltration und Chlordioxidzugabe

Zur Reduktion der Chloramine im Beckenwasserbereich hat sich in den letzten Jahren die Zugabe von Chlordioxid zum Beckenfüllwasser in Verbindung mit der UV-Technologie bewährt. Das Mittel Chlordioxid ist ein zugelassenes Desinfektionsmittel im Bereich von Trinkwassernetzen.

Um neben der Beckenwasserhygiene auch eine dauerhafte Trinkwasserhygiene sicher zu stellen, ist der Einsatz einer Ultrafiltrationsanlage im Bereich des Trinkwasserhauptanschlusses geplant. Hiermit werden sämtliche Bakterien bereits am Hauseingang abgefangen. Das Leitungsnetz kann nicht besiedelt werden. Zur weiteren Sicherstellung von hygienisch einwandfreiem Trinkwasser wird die eigentlich nur für das Schwimmbecken benötigte Chlordioxidanlage ebenfalls für das Trinkwassernetz der Duschen und Wasserzapfanlagen genutzt. Auf Grund dieser beiden nacheinander geschalteten Systeme (Ultrafiltration + Chlordioxidanlage) kann die Brauchwarmwassertemperatur im gesamten Bad mit 40°C gefahren werden. Hierdurch werden Speicher-, Leitungs- und Zirkulationsverluste deutlich reduziert. Selbstverständlich kann bei einer trotzdem auftretenden Verkeimung das gesamte Leitungsnetz entsprechend DVWG Arbeitsblatt gefahren und desinfiziert werden.

5.7.5 Trinkwarmwasser: Zirkulationsleitung vermieden

Eine Zirkulation ist nicht vorgesehen. Stattdessen wird die Temperatur am Ende des Rohrleitungsnetzes der Kalt- und Warmwasserleitungen überwacht. Sollte die eingestellte Wunschtemperatur über- oder unterschritten werden, wird die Wassermenge solange in den Schwallwasserbehälter Becken 4/5 geführt, bis die Wunschtemperatur wieder erreicht ist.

Zur Brauchwassererwärmung wird ein Speicherladesystem mit externem Plattenwärmetauscher geplant, um niedrige Rücklauftemperaturen zu erhalten. Zur Vorwärmung wird das Trinkwasser im Gegenstrom zum direkt eingeleiteten Spülabwasser über einen Plattenwärmetauscher vorerwärmt. Hiermit wird dem Abwasser die Restwärme von 25°C auf ca. 15°C entzogen.

5.8 Elektroeinsatz und Effizienzbedingungen

5.8.1 Strombedarf: Reduktion und Eigenerzeugung

Auf die Reduktion des Strombedarfes für Beleuchtung, Antriebe etc. wurde besonderes Augenmerk gelegt. Ein Großteil des Bedarfs wird mit den beiden im Technikeller des alten Fernheizwerkes befindlichen Blockheizkraftwerken erzeugt (2 Motore, jeweils 260 kW_{el}, 1*Biogas, 1*Erdgas).

Um den Strombedarf insgesamt gering zu halten, sind verschiedene Konzepte erarbeitet und in der Planung umgesetzt worden.

5.8.2 Beleuchtung: Reduktion des Energiebedarfes durch effiziente Leuchten, intelligente Steuerung und Lichtsimulationen

Im Bereich der Beleuchtungstechnik werden nur Leuchten mit hohen Wirkungsgraden eingesetzt.

In den Umkleidebereichen sind Beleuchtungsbänder mit Leuchtstoffröhren vorgesehen. Diese sind tageslichtabhängig gesteuert, da zum einen über die Fensterfassade, zum anderen über die Oberlichter viel natürliches Licht in den Bereich fällt. Zusätzlich überwachen Präsenzmelder die einzelnen Bereiche und schalten bei längerer Nichtbenutzung die Beleuchtung ab. Innerhalb der Duschräume sind ebenfalls Leuchtstofflampen vorgesehen, die über Präsenzmelder geschaltet werden.

Über eine Tageslichtmessung wird auch die Hallenbadbeleuchtung gesteuert. Hierbei werden einzelne Beleuchtungskreise zu- bzw. abgeschaltet, um eine einheitliche Beleuchtungsstärke zu erreichen. Es werden immer einzelne der doppelflammig bestückten Metaldampflampen mit einer Effizienz von ca. 100 lm/W geschaltet. Die gewünschte Beleuchtungsstärke (verschiedene Szenarien) kann an der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) vorgewählt werden, danach läuft die Steuerung automatisch ab.

Die optimalen Standorte der Leuchten wurden durch Lichtsimulationen ermittelt. So wird die in den Richtlinien geforderten Beleuchtungsstärken auf und neben der Wasserfläche mit sehr geringem Energieeinsatz erreicht. Eine Ein- und Ausschaltung von Hand, z.B. durch den Betriebsleiter oder Schwimmmeister soll nur noch in Ausnahmefällen und bei besonderen Veranstaltungen erfolgen.

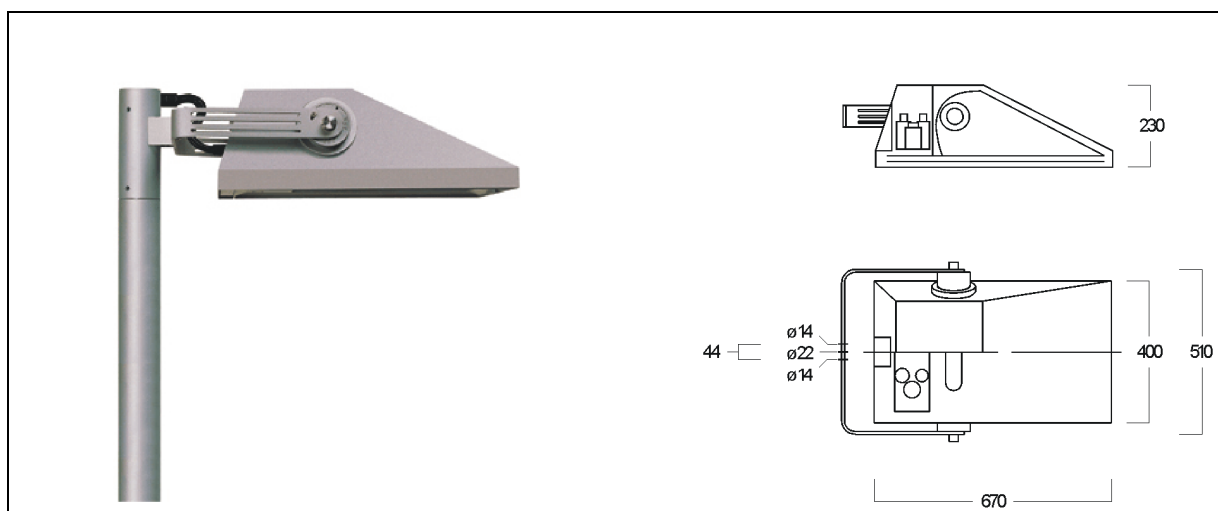


Abbildung 42: Gewählte Leuchte: we-ef Modell FLA760. (Quelle: www.weef.de)

Die gesamte Beleuchtung kann an zentraler Stelle (Personaleingang) ausgeschaltet werden, sodass beim Verlassen des Bades sichergestellt ist, dass nicht unnötiger Weise eine Beleuchtung dauerhaft betrieben wird. Gleichzeitig wird über Schlüsselschalter sichergestellt, dass das Reinigungspersonal, das vor Badebeginn in die Halle kommt, lediglich die zur Reinigung benötigte Beleuchtung einschalten kann.

Sämtliche Beleuchtungskörper sind so geplant, dass die Wartung / Instandhaltung / Austausch der Leuchtmittel von einer Leiter aus erfolgen kann. Durch diese Maßnahme wird mit einer deutlichen Senkung der Betriebskosten gerechnet. Mit der Forderung der Wartungsmöglichkeit mittels Anleiterung geht eine Beschränkung der Montagehöhen in einzelnen Bereichen einher. Anhand von Lichtberechnung wurde jedoch nachgewiesen, dass die geforderten Beleuchtungsstärken im Normal- und Wettkampfbetrieb trotzdem eingehalten werden können.

In Bereichen der Unterwasserbeleuchtung wird auf moderne LED-Unterwasserscheinwerfer zurückgegriffen, die ihrerseits durch eine vorgeschaltete Linsentechnik in der Lage sind, Beleuchtungsabbildungen innerhalb der Becken ähnlich der Metaldampflampen zu erzeugen. Die deutlich längere Lebensdauer und die Möglichkeit der Farbgebung war Grundlage für die Entscheidung. Die Unterwasserscheinwerfer sind vom kellerseitigen Beckenumgang aus bedienbar und dienen lediglich dem optischen Eindruck. Eine für Wettkämpfe ausgelegte Unterwasserbeleuchtung wurde vom Bauherrn nicht gefordert.

5.8.3 Anlagentechnik: Effiziente Pumpen, Motoren, Ventilatoren und Verdichter

Sämtliche Antriebsmotoren an den Umwälzpumpen der Badewasser- und Heizungstechnik, sowie an den Ventilatoren werden mit möglichst hohen Wirkungsgraden ausgestattet sein. Es ist die Effizienzklasse 1 (EFF1=IE2) als Mindeststandard vorgeschrieben. Umwälzpumpen und Lüftermotoren mit hohen Laufzeiten sind schon als IE3 Elektromotoren geplant. Damit ist sichergestellt, dass Motoren der neusten Generation mit den höchsten Wirkungsgraden zum Einsatz kommen.

Im Bereich der aktiven Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe wird neben der Effizienzklasse der Motoren auch auf einen exakt ausgelegten Kältekreislauf geachtet und ein drehzahl geregelter Verdichter eingesetzt, um möglichst hohe Leistungsziffern (>5) zu erreichen.

5.9 Monitoring

Der Erfolg der zu realisierenden Maßnahmen „Öffentliches Hallenbad mit Konzepten der Passivhaustechnologie“, sowie mögliches weiteres Optimierungspotential soll durch ein wissenschaftliches Monitoring belegt bzw. aufgezeigt werden. Im Vordergrund steht dabei der Nachweis der benötigten Energiemengen für den Betrieb des Bades durch das Aufstellen einer vollständigen Energiebilanz. Dazu müssen nach dem Messkonzept alle energetisch relevanten Größen erfasst werden. Danach sollen die Ergebnisse des Monitorings der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden um ggf. in spätere Regelwerke einfließen zu können.

5.9.1 In-Situ-Messungen von Energie- und Stoffströmen, Temperatur und Luftfeuchte

Insgesamt ist geplant, dass an den relevanten Anlagenteilen insgesamt etwa 280 Messstellen bzw. Sensoren montiert werden, um alle notwendigen Größen zu erfassen. Dabei sind insbesondere die folgenden Parameter zu nennen:

- Energiebezug Wärme und Strom
- Wärmequellen bzw. -senken, wie die bezogene Kaltwassermenge und die das Gebäude verlassenden Abwassermengen mit deren Temperaturen
- Die über die Lüftungsanlagen transportierten Energiemengen der feuchten Außen- und Fortluft

Neben diesen obligatorischen Messstellen, wie Temperatur, Wärme-, Strom- und Wassermenge, etc. werden hier insbesondere auch Feuchtesensoren an kritischen Bauteilen montiert werden, um die Grenzbereiche der Luftfeuchtigkeit während und außerhalb der Betriebszeiten zu ermitteln.

Außerdem sollen sich über das Kassensystem und den sich dahinter befindlichen elektrisch gesteuerten Türen anhand der Personenzahl und der Türbewegungen, Besucherströme nachvollziehen lassen. Diese haben ihrerseits wiederum Auswirkung auf Reinigungs-, Desinfektionsarbeiten, sowie auf Umwälzleistungen und Außenluftleistungen in den jeweiligen Hallenbereichen.

Um auch den Trinkwasserverbrauch für zukünftige Bäder genauer beurteilen zu können, werden sämtliche Wasserverbräuche mit den dazugehörigen Auslösungen (Dusche, WC, Urinal, Handwaschbecken) gezählt und ausgewertet.

In einem anderen Hallenbad der Bädergesellschaft Lünen wurde ein Lasersystem getestet, welches die gesamte Beckenwasseroberfläche regelmäßig scannt und so

mit geringen Unschärfen in der Lage ist, die aktuelle Zahl der im Wasser befindlichen Personen zu ermitteln. Dieses System soll auch im Neubau, erst einmal am Freizeitbecken, eingesetzt werden, um Umwälzleistung und Desinfektionsmittelzugabe nach den tatsächlichen Erfordernissen regeln zu können. Auf diese Weise sollen weitere Einsparpotentiale bei Strom, Wärme, Wasser und Betriebsmitteln erschlossen werden.

Alle zu messenden Parameter werden während des ersten Betriebsjahres zuzüglich der Einregulierungsphase (geschätzt 3 bis 4 Monate) im 10-Minuten-Raster gemessen und auf der Gebäudeleittechnik (GLT) aufgezeichnet. Das PHI greift auf diese für das Monitoring entscheidenden GLT-Daten zu und prüft diese min. wöchentlich auf Plausibilität. Die weitere Datenaufbereitung und Auswertung erfolgt im Hinblick auf die energetischen Ziele und eine mögliche Betriebsoptimierung.

5.9.2 Luftschadstoffe

Bei der energetisch motivierten Reduzierung der Luftwechselraten in einem Hallenbad sind die entscheidenden Parameter der Luftqualität zwingend zu berücksichtigen. Bei Bädern die durch Chlorung die Badewasserhygiene sicherstellen, ist insbesondere die entstehende Gruppe der Trihalogenmethane (THM) zu berücksichtigen. Vorliegende Untersuchungen (z.B. [Gundermann 1997]) lassen keine Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen der THM-Konzentration in Wasser und Luft mit der Luftwechselrate zu. Daher soll dieser Zusammenhang in einer Untersuchung in Zusammenarbeit mit einem chemischen Analyselabor untersucht werden. Unter Leitung des Passivhaus Instituts und in Absprache mit der Bädergesellschaft sollen an mehreren Messtagen etwa 200 bis 250 Raumluftproben gezogen und im Labor auf die THM Konzentration untersucht werden.

Das PHI erarbeitet die Positionen der Probenahme im Bad, wobei unterschiedliche Probenahmehöhen und unterschiedliche Luftwechselraten berücksichtigt werden sollen. An den Probenahmepositionen werden parallel zur Probenahme vom PHI der Turbulenzgrad der Luft, die Lufttemperatur und die relative Feuchte messtechnisch erfasst. Die Daten werden mit den Laboranalysen unter Berücksichtigung der jeweiligen Luftwechselraten und der sich im Wasser befindenden Personenzahl ausgewertet und interpretiert.

5.9.3 Blower Door Messung

Voraussetzung für die Funktion der Lüftungsanlagen und Vermeidung von Bauschäden infolge von Exfiltrationen ist eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle. Bei einem Hallenbad ist die Notwendigkeit einer luftdichten Hülle aufgrund der erhöhten Raumlufffeuchte besonders wichtig. Bei der angestrebten Betriebsweise mit noch höheren Raumlufffeuchten wird dies noch weiter verschärft. Daher ist die Überprüfung der Luftdichtheit mittels Luftdichtheitsmessungen eine zentrale Voraussetzung und dient zudem der Qualitätssicherung noch während der Bauphase. Zur Durchführung der Messung muss ein Zeitpunkt möglichst direkt nach dem Schließen der Gebäudehülle gewählt werden. Nur so können gefundene Mängel noch beseitigt werden. Durch eine detaillierte Leckagesuche im gesamten Gebäude können die wichtigsten Fehlstellen beurteilt und ggf. bauseits nachgearbeitet werden. Vor der Durchführung der eigentlichen Luftdichtheitsmessung nach EN 13829 mit Unter- und Überdruckmessreihe steht insbesondere die Gebäudepräparation für den Messtag und die Auswahl des Messtermins im Fokus der Tätigkeiten (Vortermine).

5.9.4 Thermographie

Zur Kontrolle der realisierten Qualität der Gebäudehülle, insbesondere an möglicherweise kritischen Punkten wie den verglasten Bereichen (Pfosten-Riegel-Konstruktion, Glasrand, Anschlüsse) und den verbleibenden Wärmebrücken im Bestandsbau (Innendämmung) wird mit einer hochauflösenden Thermographiekamera eine Innen- und Außenthermographie in der kalten Jahreszeit durchgeführt.

6 Energiebilanz / Simulation

Um die einzelnen Komponenten des Gebäudes und der Technik des geplanten Hallenbades in Lünen beurteilen und optimieren zu können, wurde der Energiebedarf planungsbegleitend berechnet. Für eine genaue Betrachtung und Analyse des thermischen und hygrischen Verhaltens wurde eine dynamische Gebäudesimulation durchgeführt. Zusätzlich wurde eine anschauliche und vereinfachte stationäre Berechnung mit einer, für diesen Zweck erweiterten, Version des Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) erstellt.

In diesem Teil des Berichtes werden der aktuelle Stand dieser Berechnungen und die aktuellen Ergebnisse beschrieben und die wichtigsten Parameter identifiziert.

Einige einflussreiche Faktoren stehen zum derzeitigen Planungsstand noch nicht endgültig fest. In diesen Fällen wurden möglichst realistische Annahmen und Abschätzungen getroffen. Beide Modelle sollen während des Betriebes und der geplanten messtechnischen Untersuchung des Bades nachgeführt werden, um den Energieverbrauch nachvollziehen zu können.

6.1 Stationäre Energiebilanz

Dynamische Gebäudesimulationen sind komplex und erfordern einen vergleichbar großen Arbeits- und Zeitaufwand zur Erstellung und Auswertung. Deutlich handhabbarer sind stationäre Energiebilanzen, die mit einer vereinfachten Rechenmethode übersichtlich den Energiebedarf eines Gebäudes ausgeben. Das Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) hat sich seit vielen Jahren in der Praxis als Hilfsmittel für die Planung von energieeffizienten Wohn- und Nichtwohngebäuden bewährt. Für die Projektierung des Hallenbades wurde das bestehende PHPP erweitert, um die verschiedenen zusätzlichen Komponenten dieses Gebäudetyps und die Wechselwirkungen zwischen den Zonen abbilden zu können.

Das Modell bildet das Gesamtkonzept aus Gebäudehülle und Haustechnik stationär, basierend auf Monatsmittelwerten des lokalen Klimas ab, und berücksichtigt dabei auch Transmissions- und Lüftungswärmeströme zwischen den einzelnen Temperaturzonen des Gebäudes.

6.1.1 Zonierung

Die Grundlage für die stationäre Bilanz des Hallenbades in Lünen ist eine Zonierung des Gebäudes in sechs Temperaturbereiche. Die gewählten Zonen sind in Tabelle 3 aufgelistet und zur Visualisierung in Abbildung 43 in den Grundrissen des Hallenbades gekennzeichnet. Zur Vereinfachung wurden einzelne Bereiche des Gebäudes so weit wie möglich und sinnvoll zusammengefasst; so wurden zum Beispiel alle Hallenbereiche mit einer volumengemittelten Temperatur als eine Zone abgebildet, sowie die Umkleiden mit einer Solltemperatur von 26 °C und die Duschen/Toiletten mit einer Solltemperatur von 28 °C.

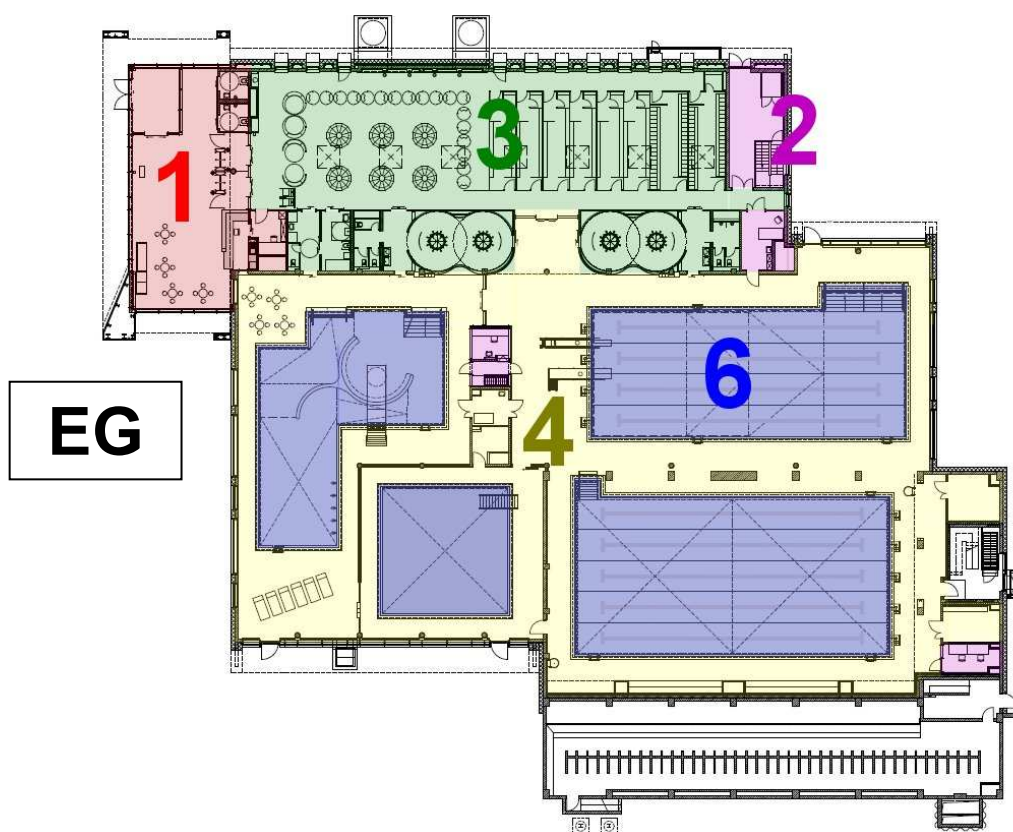
Tabelle 3: Zonen der stationären Energiebilanz.

	Bezeichnung	Solltemperatur [°C]	Energiebezugs- fläche [m²]
Zone 1	Foyer	22	121
Zone 2	Alle	22	106

	Nebenträume		
Zone 3	Umkleiden Duschen Toiletten	26,3 ¹⁾	606
Zone 4	Hallenbereiche	31,3 ¹⁾	941
Zone 5	Keller	²⁾	1288
Zone 6	Becken	29,1 ¹⁾	850
Summe			3912

¹⁾ Diese Temperaturen sind Volumenmittel der einzelnen umfassten Bereiche.

²⁾ Die Temperatur im Keller stellt sich aufgrund der internen Wärmequellen und Querwärmeströme aus den angrenzenden Zonen ein.



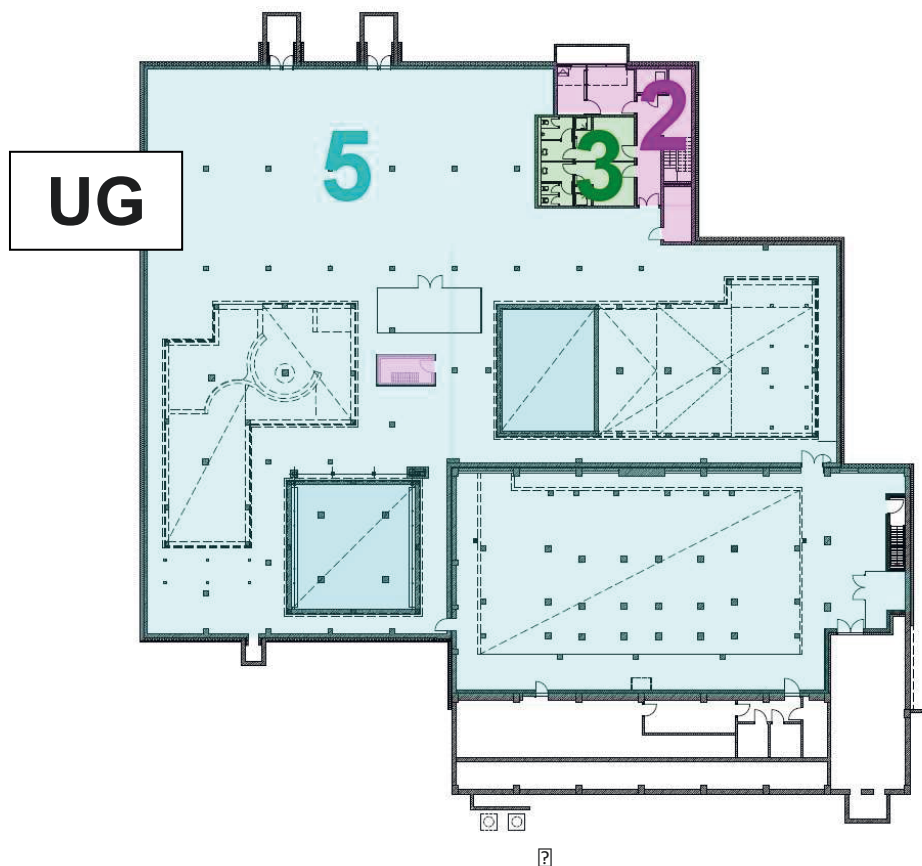


Abbildung 43: Einteilung des Gebäudes in 6 Temperaturzonen für die stationäre Energiebilanz.

6.1.2 Randbedingungen

Kennwerte der Bauteile

Die Bauteilaufbauten wurden für die Berechnung gemäß Angaben in Kapitel 4.5 übernommen. Die Innenraumverglasung der Trennwände zwischen Temperaturzonen wird derzeit als Zweifach-Wärmeschutzverglasung modelliert bzw. alle Schiebetüren als Einfachverglasung. Die Entkopplung der Temperaturbereiche trägt wesentlich zur Energieeinsparung und Komforthöhung bei, eine Variantenstudie der Verglasungsqualität mit Rücksicht auf entstehende Zusatzkosten soll noch durchgeführt werden.

Angrenzender Altbau

Alle Trennwände an den angrenzenden Altbau wurden pauschal als Außenflächen mit einem Reduktionfaktor von 75% angesetzt.

Nutzungszeiten

Die Öffnungszeiten des Bades werden voraussichtlich folgende sein: Montag bis Freitag 6.15 Uhr bis 21.45 Uhr, Samstag/Sonntag 7.00 Uhr bis 21.45 Uhr. Für die Bilanzierung wurde zunächst täglich 6.00 bis 22.00 angesetzt um zusätzliche Vor- und Nachspülzeiten, sowie die Reinigungsphasen berücksichtigen zu können.

Verdunstung und Lüftung

Einer der größten Energieverbraucher im Hallenbad ist der Wasserkreislauf bzw. die durch die Verdunstung verursachten Wärmeverluste. Es gilt diese so genau wie möglich abzubilden, was jedoch nur unter Annahmen geschehen kann. Die Verdunstung ist von der Nutzung abhängig, die nur schwer voraussehbar ist. Um auf der sicheren Seite zu rechnen wurden der Berechnung während den Öffnungszeiten konstante Wasserübergangskoeffizienten nach [VDI 2089] zugrunde gelegt (siehe Tabelle 4). Durch die Unterwasserumwälzung (vgl. Kapitel 5) und das Abschalten der Überlaufrinnen wird nachts von einer reduzierten Verdunstungsrate ausgegangen. Der Wasserübergangskoeffizient wurde dafür mit 6 m/h angesetzt. Aus den Wasserübergangskoeffizienten und den Solltemperaturen der Becken- und Hallenzone ergeben sich konstante Verdunstungsmengen während den Betriebsstunden und außerhalb dieser, die der Halle als Feuchtequellen angerechnet werden.

Tabelle 4: Wärmeübergangskoeffizienten der Becken nach VDI 2089.

	β [m/h] tagsüber
Eltern-Kind & Warmbecken	40
Lehrschwimmbecken	28
Sportbecken 4	35
Sportbecken 5	28

Eine der Besonderheiten eines Passivhaushallenbades ist die Möglichkeit, dank der sehr guten Gebäudehülle, höhere Hallenfeuchten zulassen zu können ohne Bauschäden zu riskieren (siehe Kapitel 4 und [PHI 2009]). Der Energiebilanzierung wurde daher, entsprechend den Ergebnissen der Grundlagenuntersuchung zu Passivhausbädern [PHI 2009], für die Schwimmhalle durchgängig eine Raumluftfeuchte von 64 % zu Grunde gelegt. Diese Sollfeuchte bestimmt den Außenluftvolumenstrom der Hallenlüftung, der zur Entfeuchtung benötigt wird.

Alle anderen Zonen werden während der Öffnungszeiten mit einem konstanten Luftwechsel nach Auslegung des Haustechnikplaners belüftet. Im noch laufenden Planungsprozess werden diese Werte in Absprache des Planungsteams nach Möglichkeit weiter optimiert, um Lüftungswärmeverluste zu reduzieren.

Der trockene Wärmebereitstellungsgrad aller Lüftungsgeräte wurde mit 70% angesetzt. Die genauen Gerätespezifikationen werden noch nachgetragen. Zusätzliche Wärmegevinne durch das im Wärmetauscher entstehende Kondensat (Enthalpiegewinne) werden berücksichtigt.

Für die Lüftungsgeräte wurde zunächst eine Stromeffizienz von 0.45 Wh/m^3 angesetzt. Dieser Wert entspricht den generellen Passivhausanforderungen. Dank optimierten Druckverlusten und effizienten Ventilatoren/Motoren sind die tatsächlichen Werte voraussichtlich niedriger. Die Energiebilanz wird entsprechend angepasst, wenn die Spezifikationen feststehen.

Nach derzeitigem Planungsstand ist vorgesehen den Luftwechsel der Hallen tagsüber konstant zu halten und den benötigten Außenluftvolumenstrom mit Umluft zu ergänzen (siehe Kapitel 5), um eine konstante Durchspülung der Hallen zu gewährleisten. Diese Umluft erhöht den Stromverbrauch der Lüftungsgeräte – eine weitere Maßnahme zur Energieeinsparung besteht also darin, den Umluftanteil weitestgehend zu reduzieren. Dies wird im Betrieb angestrebt. Der zusätzliche Stromverbrauch durch den Umluftanteil während der Öffnungszeiten wird in der Energiebilanz separat ausgewiesen.

Die Wärmepumpe im Hallenbereich des Lehrschwimmbeckens wird im derzeitigen Gebäudemodell wegen der komplexen Zusammenhänge und der schwer abschätzbaren Einflussfaktoren nicht berücksichtigt. Die Auswirkung auf den Energiehaushalt soll im Betrieb vermessen werden. Auf die Ergebnisse kann eine Modellierung nachträglich aufsetzen.

Ein gewisser Luftaustausch zwischen den einzelnen Temperaturzonen durch geöffnete Türen lässt sich nicht vermeiden. Es wurden Annahmen zum Besucherverhalten getroffen und entsprechende Luftwechsel abgeschätzt.

Für die Luftdichtheit der Gebäudehülle und den entsprechenden Infiltrationsluftwechsel wurde ein Drucktestergebnis bei 50 Pa Druckdifferenz von $n_{50} = 0,2 \text{ h}^{-1}$ angenommen.

Warmwasser

Die Wärmeverluste durch die Verdunstung wurden als Wärmesenken in der Zone „Becken“ berücksichtigt. Separat hierzu wird der Heizbedarf des benötigten Beckenfrischwassers berechnet. Die Menge des Frischwassers wird zum einen durch den hygienischen Bedarf und zum anderen durch die Verluste der notwendigen Filterspülung und Verdunstung bestimmt. Im Regelfall sind diese Verluste höher als der hygienische Mindestwasseraustausch, so dass die Summe dieser Größen für die Energiebilanz ausschlaggebend ist.

Der Energiebedarf für das Duschwarmwasser wurde anhand der erwarteten Besucherzahl von 230000 Besuchern pro Jahr berechnet (ausgehend von einer Durchflussmenge der Duschköpfe von 6 Liter pro Minute und einer durchschnittlichen Duschzeit von 3 Minuten).

Die Verteilverluste der Heizungsrohre, der Warmwasser- und Kaltwasserleitungen können in der Energiebilanz berücksichtigt werden. Sie wurden abgeschätzt aber in den hier aufgeführten Ergebnissen vernachlässigt, da der Einfluss auf die Gesamt-Primärenergiebilanz vergleichbar gering ist und noch keine genauen Angaben vorliegen.

Verbraucher

Die derzeit im PHPP angesetzten Werte der Stromverbraucher basieren auf Abschätzungen des Haustechnikplaners. Hierbei wird zwischen der Gebäudetechnik (Hilfsstrom Heizung, Sanitär, Schwimmbadtechnik), der Beleuchtung und sonstigen Verbrauchern (Kasse, Föhne, Verwaltung, ggf. Aufzug etc.) unterschieden. Eine Überarbeitung dieser Werte erfolgt im noch laufenden Planungsprozess.

Interne Wärme- und Feuchtequellen

Die internen Wärmequellen des Bades unterscheiden sich in jeder Zone. Sie setzen sich zusammen aus der Wärmeabgabe der Besucher, der Beleuchtung, der Gebäudetechnik, sonstigen Anwendungen und der Verteilverluste. Insbesondere im Keller sind die Wärmequellen durch die zentrale Technikausstattung auf vergleichbar engem Raum recht hoch. Mit Hilfe des PHPP können die Wärmeabgaben recht genau für jede Zone berechnet werden, sofern die relevanten Parameter bekannt sind oder verlässlich abgeschätzt werden können. Um für die Berechnung des Heizwärmebedarf zunächst auf der sicheren Seite zu liegen, wurden für den hier aufgeführten Bilanzierungsstand Standardwerte aus dem Nichtwohngebäudesektor übernommen: Bis auf den Keller und die Becken wurde jeder Zone 3.5 W/m² angerechnet. Die Gewinne der Becken durch Schwimmer und Beleuchtung wurden vernachlässigt und dem Keller kommen pauschal 15 W/m² zugute.

Klimadaten

Verwendet wurde der Klimadatensatz des Testreferenzjahres TRY 5 (Essen) des Deutschen Wetterdienstes [Christoffer 2004].

6.1.3 Ergebnisse

Endenergiebedarf

Endenergiebedarf nach derzeitigem Projektierungsstand (ohne Umluft):
549 kWh/(m²a)

Der mit dem PHPP berechnete Endenergiebedarf ist in Abbildung 44 dargestellt. Unterschieden wird hierbei zwischen dem Heizwärmebedarf der Raumluft, dem Heizwärmebedarf des Becken- und Duschwassers, sowie dem Strombedarf der Haustechnik und sonstiger Verbraucher. Deutlich zu erkennen ist, dass die Raumbeheizung in der Gesamtsumme eine eher untergeordnete Rolle spielt – auch dank der sehr gut gedämmten und luftdichten Passivhausgebäudehülle. Den größten Endenergiebedarf hat das Wasser, wobei die Verdunstung des Beckenwassers die größten Verluste verursacht.

Der Hauptenergieverbraucher „Verdunstung“ wird mit dem Passivhaus-Konzept erheblich reduziert. Dies wird deutlich, wenn man die Bilanz desselben unveränderten Gebäudes bei einer nach Norm ausgelegten Hallenfeuchte von 14,3 g/kg betrachtet (Abbildung 45). Der Gesamtendenergiebedarf liegt dann bei 793 kWh/(m²a), wobei in dieser Zahl der erhöhte Stromverbrauch der Schwimmbad- und Heiztechnik noch nicht berücksichtigt ist. Konkret wird durch die höhere Hallenfeuchte der Heizwärmebedarf der Halle um ca. 46 % reduziert und der des Beckenwassers (nur Transmissions- und Verdunstungsverluste) um ca. 36 %. Weitere Einsparungen in diesem Bereich sind aus Komfort- und bauphysikalischen Gründen kaum möglich, diese Grenzen sollen während der geplanten messtechnischen Untersuchung validiert werden.

Neben dem Wärmebedarf der Raumluft und des Becken-, sowie Duschwassers, ist in den folgenden Grafiken der projektierte Strombedarf des Gebäudes aufgeführt. Diese Werte sind zum jetzigen Zeitpunkt am unsichersten, die hier aufgeführten Zahlen basieren auf Abschätzungen und Hochrechnungen, die auf der sicheren Seite liegen. Der Stromverbrauch der Lüftungsventilatoren wurde, wie in den Randbedingungen beschrieben, mit einer Stromeffizienz der Lüftungsgeräte von 0.45 Wh/m³ berechnet. Er ist unterteilt in den Strombedarf der für die Entfeuchtung erforderlichen Außenluftmenge und dem zusätzlichen Strombedarf bei maximalem Umluftbetrieb (Differenz zwischen Auslegungs- und Außenluftvolumenstrom) während der Öffnungszeiten. Hier ist deutlich zu erkennen, dass der benötigte Ventilatorstrom ohne Umluft wesentlich reduziert werden kann. In diesem Fall sind es fast 50 %.

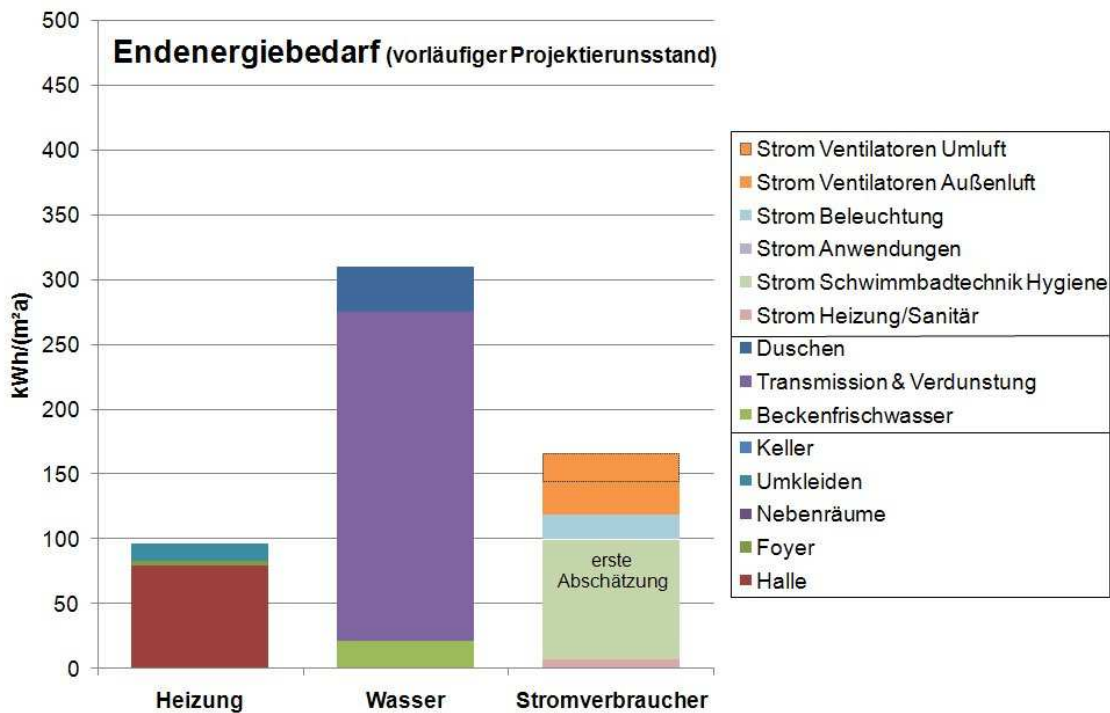


Abbildung 44: Der Endenergiebedarf des Gebäudes nach dem derzeitigen vorläufigen Projektierungsstand, unterteilt in Raumheizwärmebedarf, Heizbedarf des Wassers und Stromverbraucher.

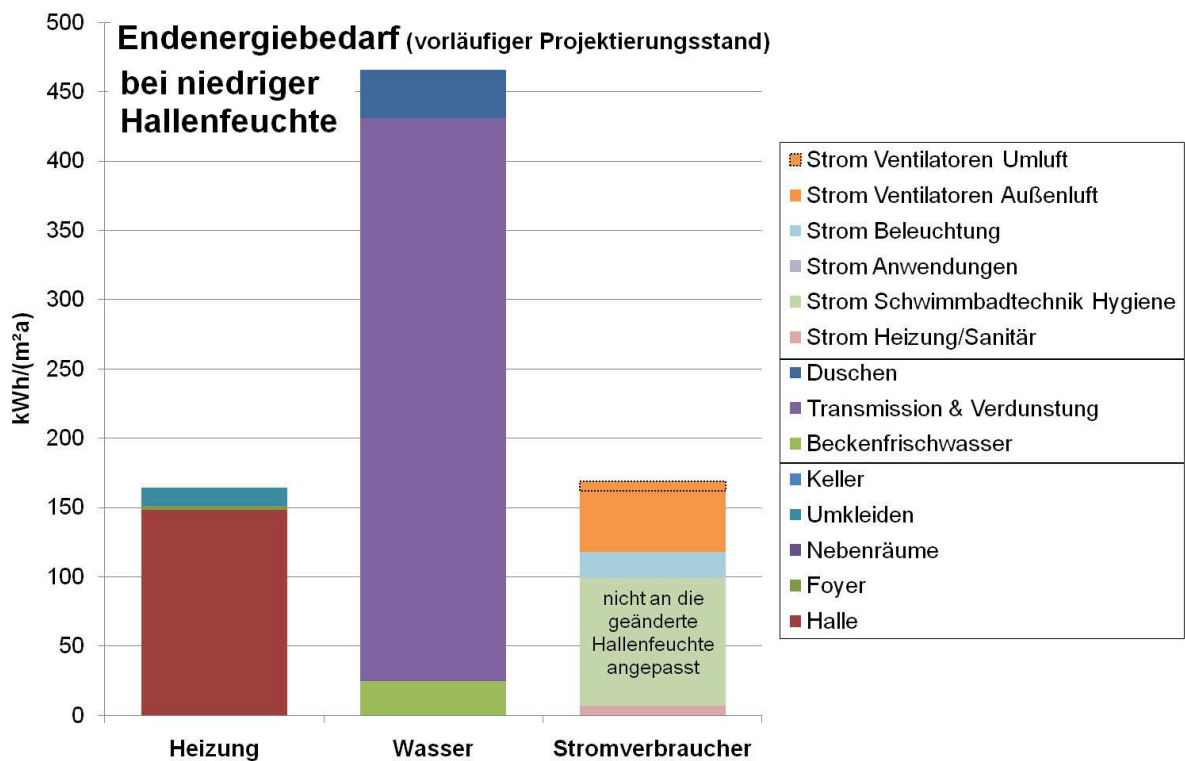


Abbildung 45: Der Endenergiebedarf des Gebäudes nach dem derzeitigen vorläufigen Projektierungsstand, unterteilt in Raumheizwärmebedarf, Heizbedarf des Wassers und Stromverbraucher bei einer niedrigeren Hallenfeuchte nach [VDI 2089].

Primärenergiebedarf

Die bisherigen Aussagen über den Endenergie- und Strombedarf sind interessant und relevant, da hiermit detailliert und eindeutig die Energieströme nachvollzogen und somit mögliche Einsparpotentiale identifiziert werden können. Für die endgültige energetische Bewertung des Gebäudes ist es jedoch notwendig und sinnvoll, die Primärenergiebilanz zu betrachten, d.h. die Art der Wärmebereitstellung zu berücksichtigen und den Endenergiebedarf mit Primärenergiefaktoren zu gewichten.

Primärenergiebedarf nach derzeitigem Projektierungsstand (ohne Umluft):
409 kWh/(m²a)

In Abbildung 46 ist die mit dem PHPP berechnete Primärenergiebilanz des aktuellen Projektierungsstandes des Lippe Bads aufgeführt, unterteilt in die gleichen Bereiche wie der Endenergiebedarf im vorhergehenden Textabschnitt. Die Gewichtung dieser Bereiche verschiebt sich erheblich, da der Primärenergiefaktor für Strom mit 2,6 wesentlich ungünstiger ist als der der Fernwärmeversorgung mit 0,17 [Wibera 2010]. In diesem speziellen Fall wird außerdem die Abwärme des BHKWs genutzt um ca. 50 % des Heizbedarfs abzudecken, die mit einem Primärenergiefaktor von 0¹ angesetzt wurde.

An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass das Lippe Bad mit einem primärenergetisch sehr günstigen Fernwärmeanschluss und der Möglichkeit zur direkten BHKW-Abwärmenutzung unter vorteilhaften Randbedingungen gebaut wird. In anderen Fällen muss eine Wärmepumpe zur Enthalpierückgewinnung aus der Fortluft eingesetzt werden, um ähnliche Primärenergiekennwerte zu erreichen (vgl. [PHI 2009]).

¹ Der Strombedarf für die zusätzlich erforderlichen Pumpen dieses Heizkreises wurde über den Stromverbrauch der Heiztechnik berücksichtigt.

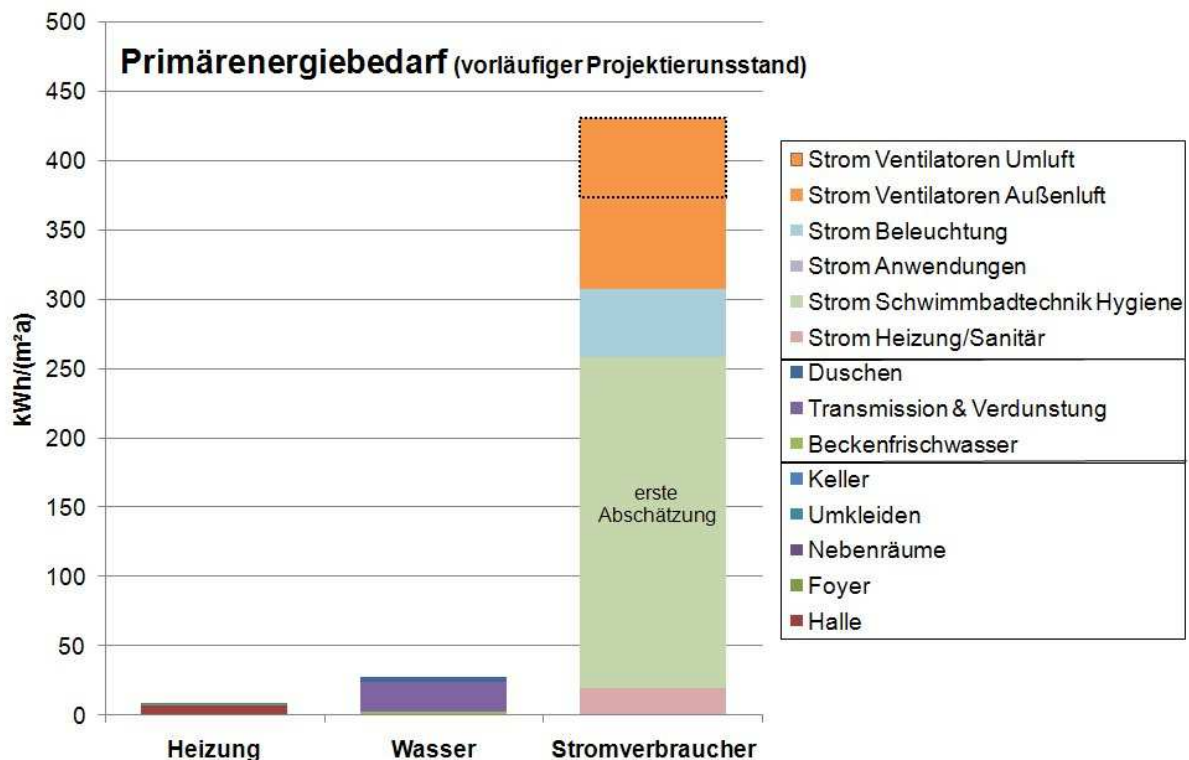


Abbildung 46: Der mit dem PHPP projektierte Primärenergiebedarf nach dem derzeitigen vorläufigen Projektierungsstand, unterteilt in Raum-Heizwärmebedarf, Heizbedarf des Wassers und Stromverbraucher.

Bei der Primärenergiebilanz steht eindeutig der Stromverbrauch im Vordergrund. Dies verdeutlicht, dass bei der Planung besonders darauf zu achten ist, unnötige Druckverluste zu vermeiden und hocheffiziente Geräte einzusetzen. Wie bereits beschrieben, sind die hier aufgeführten Werte noch sehr vorläufig – an der Gewichtung der einzelnen Bereiche wird sich jedoch voraussichtlich nicht viel ändern. Den Hauptverbraucher stellt die Schwimmbadtechnik dar, gefolgt von der Lüftung und der Beleuchtung.

6.2 Dynamische Gebäudesimulation

Für die dynamische Simulation wurde das PHI-eigene Simulationsprogramm DYNBIL verwendet, das umfassend validiert wurde [vgl. Feist 1994], sich seit vielen Jahren in der Praxis für die Simulation von verschiedenen Gebäudetypen sehr gut bewährt hat und fortlaufend weiter entwickelt wird. Es ermöglicht eine detaillierte Vorhersage des thermischen und hygrischen Verhaltens von Gebäuden auf Grundlage der physikalischen Zusammenhänge.

6.2.1 Zonierung

Das geplante Bad wurde so genau wie sinnvoll und möglich abgebildet, mit einer Zonierung in 13 Temperatur- und Nutzungsbereiche. Diese Zonen und ihre jeweiligen Solltemperaturen sind in Tabelle 5 aufgelistet. Entsprechend der geplanten Haustechnik und der abzusehenden Nutzung wurden für jede Zone separat interne Wärmequellen bzw. –senken, Feuchtequellen und Luftwechselraten angesetzt.

Tabelle 5: Zonen der dynamischen Gebäudesimulation.

	Bezeichnung	Solltemperatur [°C]
Zone 1	Foyer	22
Zone 2	Umkleiden	26
Zone 3	Duschen Toiletten	28
Zone 4	Aktivitätsbereich	34
Zone 5	Lehrschwimbereich	34
Zone 6	Sportbereich	30
Zone 7	Eltern-Kind- & Warmbecken	32
Zone 8	Lehrschwimmbecken	32
Zone 9	Sportbecken 1&2	28
Zone 10	Keller (Technik)	¹⁾
Zone 11	Schwimmeisterraum (SM)	22
Zone 12	Sprecherraum	22
Zone 13	Nebenräume NO	22

- 1) Die Temperatur im Keller stellt sich aufgrund der internen Wärmequellen und Querwärmeströmen aus den angrenzenden Zonen ein.

6.2.2 Randbedingungen

Die Randbedingungen der Berechnungen entsprechen denen der stationären Energiebilanz, außer in folgenden Details:

Kennwerte der Bauteile

Die Bauteilaufbauten wurden analog zu denen der stationären Energiebilanz in das Simulationsmodell eingetragen, mit dem Unterschied, dass die Wärmeübergangswiderstände an den Oberflächen nicht als konstant angenommen werden sondern in jedem Zeitschritt entsprechend der Randbedingungen neu berechnet werden. Die Wärmedurchgänge durch die Bauteile sind somit genauer abgebildet. Auch die Energiebilanz der einzelnen Fenster und inneren Verglasungsflächen wird von DYNBIL wesentlich komplexer und korrekter berechnet.

Angrenzender Altbau

In der dynamischen Simulation wird für den angrenzenden Altbau zwischen drei Zonen unterschieden: Nebenräume, BHKW-Aufstellraum und Schalthaus. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es in Nebenräumen nicht kälter als 20 °C und nicht wärmer als 25 °C wird, dass die internen Wärmegewinne im Schalthaus im Winter für eine Mindesttemperatur von 10 °C sorgen, und dass im BHKW-Aufstellungsraum das ganze Jahr über 50 °C Lufttemperatur herrschen.

Verdunstung und Lüftung

Die Verdunstungsmenge wird entsprechend der Temperatur- und Feuchteverhältnisse der Becken und der jeweiligen Hallenluft in jedem Zeitschritt neu berechnet, basierend auf den in Tabelle 4 aufgelisteten Wasserübergangskoeffizienten. In der Praxis ist der Wasserübergangskoeffizient je nach Nutzung variabel – dies kann in der Simulation nach den ersten Messungen entsprechend angepasst werden.

Einer der wesentlichen Unterschiede zur stationären Berechnung ist, dass die Belüftung in der dynamischen Simulation zeitabhängig betrachtet werden kann. Die Belüftung der Hallenbereiche ist feuchtegesteuert, d.h. der Außenluftvolumenstrom wird abhängig von der Verdunstungsrate und der Außenluftfeuchte in jedem Rechenschritt der Simulation neu berechnet, um die Sollfeuchte der Hallenluft zu halten. Analog zur stationären Berechnung wurde dem dynamischen Simulationsmodell eine Hallenfeuchte von *durchgängig* 64 % zugrunde gelegt. Im Betrieb soll nachts eine noch höhere Hallenfeuchte zugelassen werden (siehe Kapitel 5); daher wurden in das Simulationsmodell weitere Berechnungsvarianten integriert, bei welchen die Hallenlüftung nachts ganz ausgeschaltet bleibt oder einen höheren Grenzwert zulässt. Die restlichen Zonen werden ausschließlich während der Öffnungszeiten belüftet. Zudem wird in diesem dynamischen Modell die geplante Überströmung von den Umkleiden in die Duschen berücksichtigt. Auch die zentrale Belüftung mehrerer Zonen über ein Lüftungsgerät (Foyer, Keller und Nebenräume) kann besser abgebildet werden.

Das Lüftungsgerät der Nebenräume (Foyer, Keller, Schwimmmeister, Sprecherraum, Nebenräume NO) ist mit einem temperaturgeregelten Bypass der Wärmerückgewinnung ausgestattet, um Überhitzung im Sommer vorzubeugen. Eine zusätzliche Nachtlüftung zur Auskühlung dieser Bereiche ist nicht vorgesehen.

Die Wärmepumpe des Lüftungsgerätes für den Erholungsbereich wird auch in der dynamischen Simulation nicht abgebildet. Auch der Umluftanteil der Hallenlüftungsgeräte wird nicht berücksichtigt. Beide Faktoren spielen für den Heizwärmebedarf und die Wärmeströme zwischen den Zonen keine relevante Rolle, sie spiegeln sich in der Primärenergiebilanz des Gebäudes wider.

Heizung

Alle Zonen sind aktiv auf die jeweilige Solltemperatur beheizt. Im derzeitigen Simulationsmodell ist die Beheizung ideal abgebildet, d.h. DYNBIL berechnet den theoretischen Wärmebedarf und somit die Heizlast separat für jede Zone, ohne Berücksichtigung der Nebeneffekte eines realen Heizsystems (Verteilverluste, begrenzte Heizleistung etc.). Im nächsten Schritt soll die Beheizung als Luftheizung simuliert werden, um die tatsächlichen Verhältnisse noch besser abbilden zu können.

Verbraucher

Die einzelnen Verbraucher gehen in die Simulation nur indirekt über ihre Wärmeabgaben ein. Der jährliche Strombedarf wird mit DYNBIL nicht berechnet.

Interne Wärme- und Feuchtequellen

In der dynamischen Simulation können interne Wärme- und Feuchtequellen akkurater abgebildet werden, da anstelle von Mittelwerten mit einer stundengenauen Aufteilung der einzelnen Quelleleistungen gerechnet werden kann. Im derzeitigen Modell wird zwischen Öffnungszeiten und Ruhebetrieb (keine interne Wärmequellen außer im Keller) unterschieden.

Außer der Beckenverdunstung gibt es durch die nassen Badegäste, Handtücher, Duschen etc. verschiedene Feuchtequellen, die nur schwer abzuschätzen sind. Für die Zone der Duschen wurde ein Feuchteeintrag in die Luft von 200 g/Duschvorgang angenommen, gemittelt über den Öffnungszeitenraum.

Warmwasser

Der Heizbedarf für das Warmwasser zur Duschnutzung fließt nicht in die dynamische Simulation ein, da es weitestgehend unabhängig von denen Temperaturverhältnissen der einzelnen abgebildeten Zonen ist und separat berechnet werden kann.

Der Heizbedarf des Beckenfrischwassers wird in diesem Modell nicht separat, sondern analog zur Verdunstung als Wärmesenke der einzelnen Becken angesetzt.

6.2.3 Ergebnisse

Endenergiebedarf

Endenergiebedarf nachzeitigem Projektierungsstand: 389 kWh/(m²a)

Dieser Wert beinhaltet ausschließlich den Heizwärmebedarf aller Zonen und den Energiebedarf zur Beckenwassererwärmung.

In Abbildung 47 sind die berechneten Werte aller 13 Temperaturzonen grafisch dargestellt, unterteilt in die Raumluft- und Beckenwasserbeheizung.

Auch hier ist deutlich zu erkennen, dass das Wasser den Haupt-Endenergieverbraucher darstellt. Für eine genauere Betrachtung des Heizwärmebedarfs der Raumluft sind die berechneten Werte der einzelnen Zonen in Abbildung 48 absteigend sortiert aufgeführt. Wie zu erwarten, ist der Heizwärmebedarf des größten Hallenbereiches am höchsten, gefolgt von den kleineren (aber wärmeren) Hallenabschnitten und dem Umkleidebereich.

Der Heizwärmebedarf der Duschen ist trotz des höheren Temperaturniveaus von 28 °C niedriger als der der Umkleiden, da hier nur eine Nacherwärmung der bereits auf 26 °C erwärmten Raumluft der Umkleiden erfolgen muss. Dies ist ein gutes Beispiel für vorteilhafte Lüftungsplanung und Raumaufteilung. Der warme Duschbereich agiert als eine Art „Puffer“ zwischen dem deutlich wärmeren Hallenbereich und dem kühleren Umkleidebereich. Die Nebenräume haben einen sehr niedrigen Heizwärmebedarf, da sie fast komplett über die Querwärmeströme aus den angrenzenden wärmeren Zonen beheizt werden. Zudem wird für die Beheizung dieser Räume indirekt die Abwärme der Gebäudetechnik genutzt, da sie von demselben Lüftungsgerät (wie auch der Keller) versorgt werden und somit die erwärmte Abluft des Kellers über die Wärmerückgewinnung die Zuluft aller dieser Räume vorerwärmt.

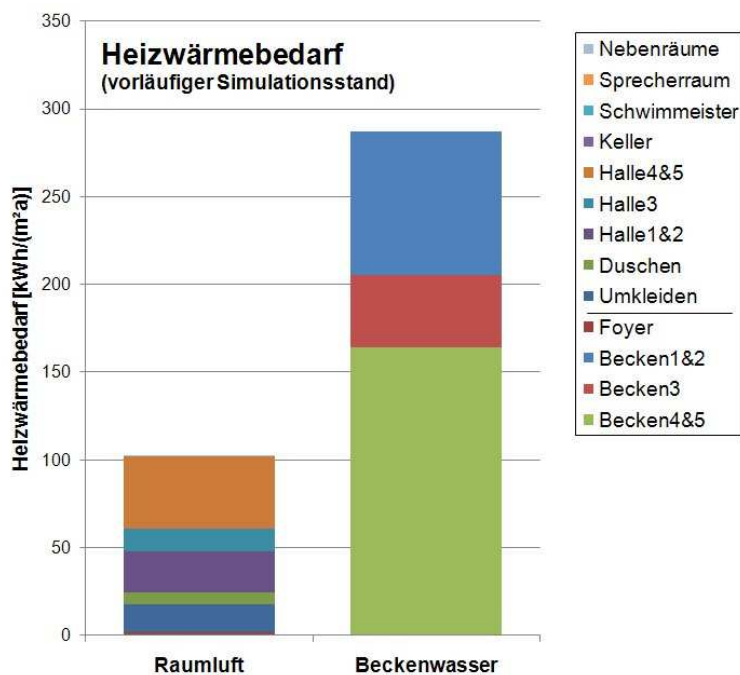


Abbildung 47: Der mit der dynamischen Simulation berechnete Heizwärmebedarf der einzelnen Zonen für den aktuellen, vorläufigen Stand, unterteilt in Raum- und Beckenwasserbeheizung.

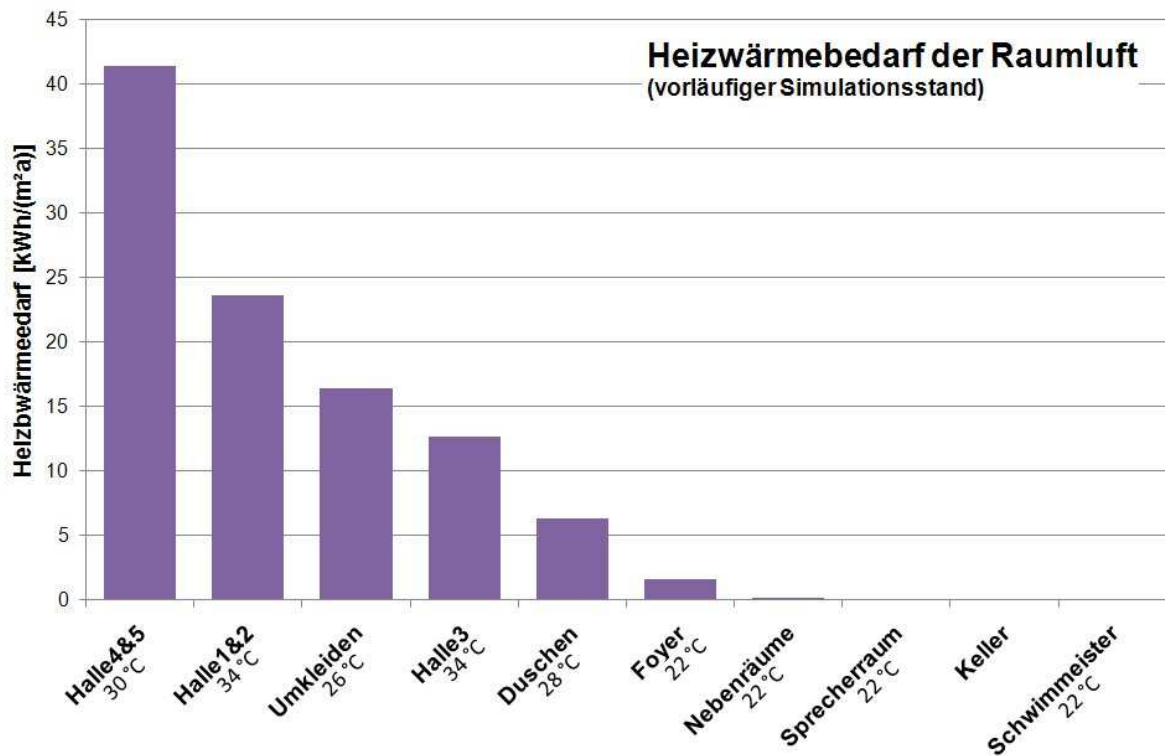


Abbildung 48: Der mit der dynamischen Simulation berechnete Heizwärmebedarf der Raumluft, absteigend sortiert.

In einzelnen Räumen (Schwimmmeister- und Sprecherraum) ist nun nicht mehr die Beheizung von zentraler Bedeutung, sondern vielmehr die Überhitzungsgefahr. Die dynamische Simulation bietet den großen Vorteil, dass die Temperaturverläufe der einzelnen Zonen genau betrachtet werden können; somit kann geprüft werden, ob die gesetzten Komfortrandbedingungen auch in einzelnen Räumen eingehalten werden. Die Ergebnisse der Simulation können dann direkt verwendet werden, um z.B. die Lüftungs- und Sommerbypassregelung weiter zu optimieren.

6.3 Vergleich der Rechenverfahren

Die Ergebnisse der beiden Rechenverfahren sehr gut überein, wie in den Abbildung 49 bis Abbildung 52 dargestellt. Die geringen Unterschiede in den Ergebnissen der beiden beschriebenen Rechenmodellen sind bereits allein auf Grund der unterschiedlichen Zonierung und der Rechenschritte (Monatswerte / Stundenwerte) zu erwarten. Zudem können die thermischen Wechselwirkungen mit der dynamischen Simulation wesentlich präziser abgebildet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Versorgung mehrerer Zonen über ein Lüftungsgerät, was die Ablufttemperatur

und somit den Wärmebereitstellungsgrad der separaten Räume beeinflusst. Für die stationäre Bilanz müssen solche Effekte so gut wie möglich abgeschätzt werden bzw. als Teilergebnisse aus der Simulation übernommen werden.

In Abbildung 49 sind die Ergebnisse des Heizwärmebedarfs der stationären Energiebilanz und der dynamischen Simulation im Vergleich aufgeführt. Hierfür wurden die mit der dynamischen Simulation berechneten Werte für die Zonenaufteilung der stationären Energiebilanz aufsummiert und nur die relevanten Werte aus dem PHPP übernommen (kein Strombedarf, kein Duschwasser). Die Übereinstimmung ist sehr gut, beide Modelle bilden dieselben Tendenzen ab: Den größten Bedarf hat das Beckenwasser, gefolgt von den Schwimmhallen und dann den Umkleiden und Duschen. Die Nebenräume haben einen fast vernachlässigbaren Heizwärmebedarf und der Keller wird gar nicht beheizt.

Die Summe des Raumheizwärmebedarfs im Vergleich ist in Abbildung 50 dargestellt. Für den derzeitigen Projektierungsstand, wie in Kapitel 4.5 beschrieben, ergibt sich eine Abweichung von 6 %. Die Abweichung des Beckenwasserheizwärmebedarfs ist mit nur 4 % etwas niedriger (Abbildung 51).

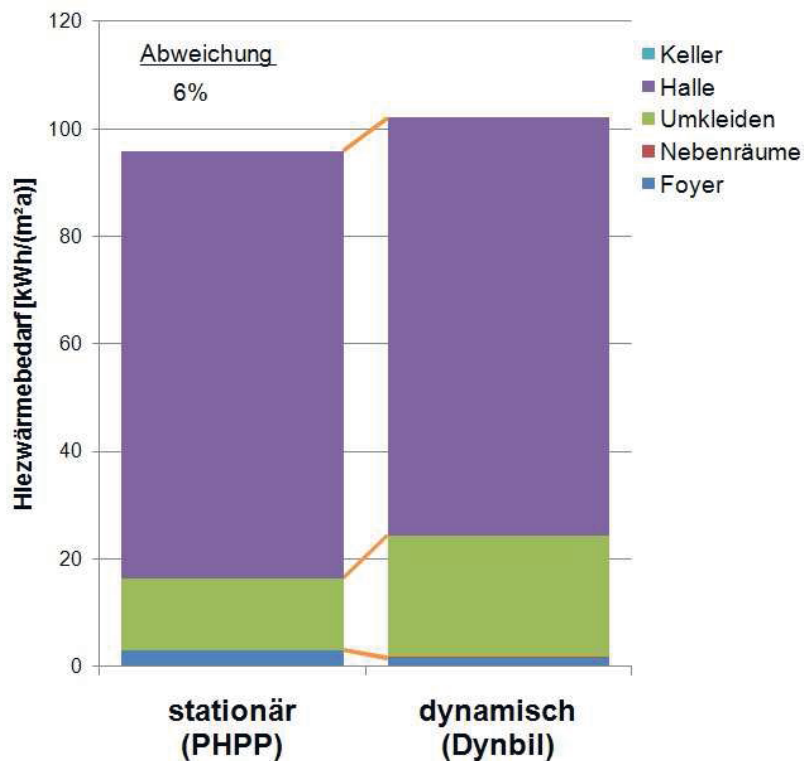


Abbildung 49: Vergleich des stationär und dynamisch berechneten Heizwärmebedarfs jeder Temperaturzone.

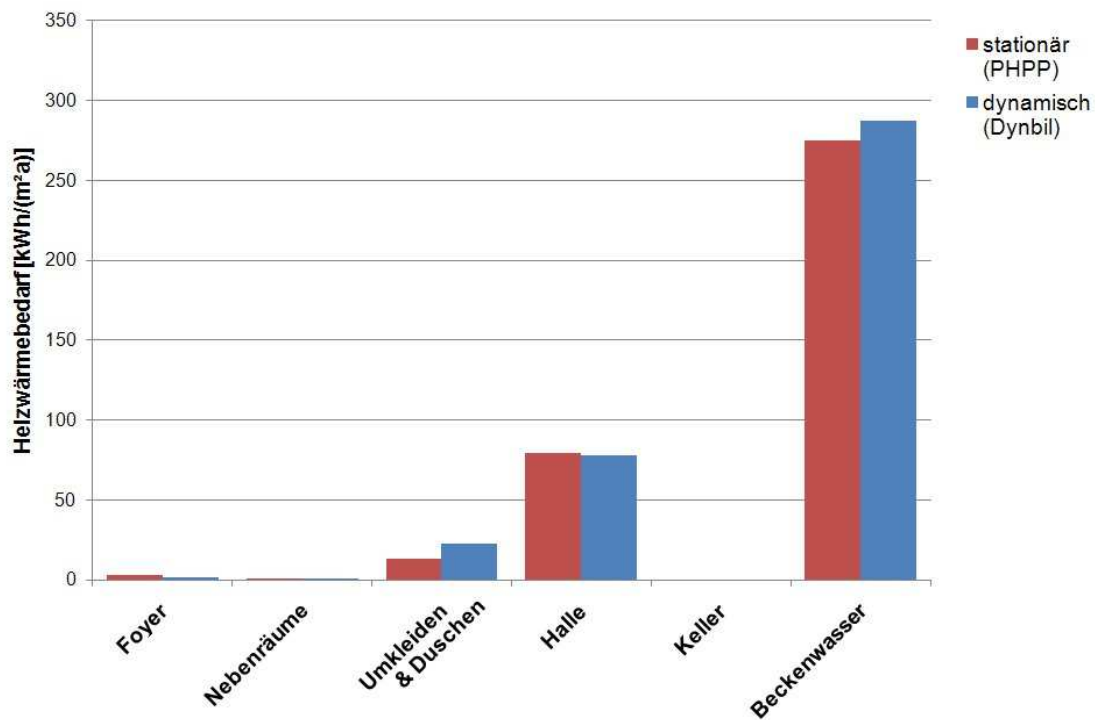


Abbildung 50: Vergleich des stationär und dynamisch berechneten Heizwärmebedarfs der einzelnen Zonen und die Gesamtabweichung des Ergebnisses.

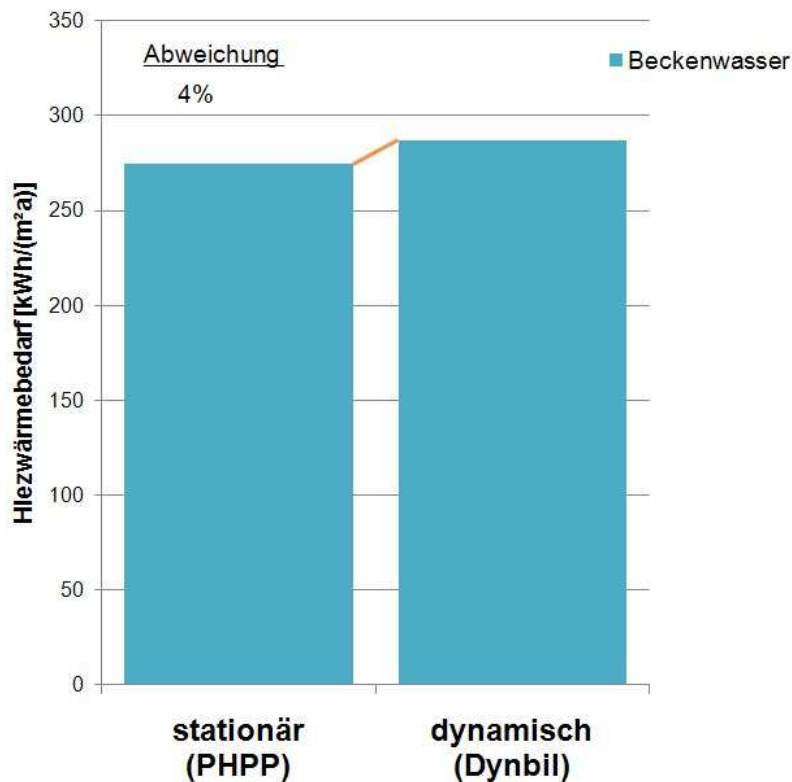


Abbildung 51: Vergleich des stationär und dynamisch berechneten Heizwärmebedarfs des Beckenwassers (Verdunstungs- und Transmissionsverluste, Frischwassererwärmung) und die Gesamtabweichung dieses Ergebnisses.

Beim Vergleich der Ergebnisse ist die genauere Betrachtung der Zonen, die in der dynamischen Simulation genauer aufgeteilt wurden besonders interessant, also der Bereich der Umkleiden und Duschen und die PHPP Zone „Nebenräume“, die unter anderem den Schwimmmeister- und Sprecherraum beinhaltet. Die relevanten Temperaturverläufe (Monatsmittelwerte) sind in Abbildung 52 und Abbildung 53 dargestellt. Bei den Nebenräumen (Abbildung 52) stimmen die über die Raumvolumen gemittelten Temperaturen der dynamischen Simulation im ganzen Jahresverlauf sehr gut mit den stationär berechneten Werten überein. Deutlich zu erkennen ist jedoch, dass insbesondere der Schwimmmeisterraum stark von diesen Monatsmittelwerten abweicht: Durch die zentrale Lage, umgeben von den warmen Schwimmhallen, stellen sich hier höhere Temperaturen ein. Dieses Phänomen kann mit der stationären Energiebilanz nicht abgebildet werden. Die Situation bei den Umkleiden und Duschen ist ähnlich: Im Mittel stimmen die Werte recht gut überein, die tatsächlichen Temperaturen der kleineren Zone (Duschen) weichen, wie zu erwarten, etwas ab.

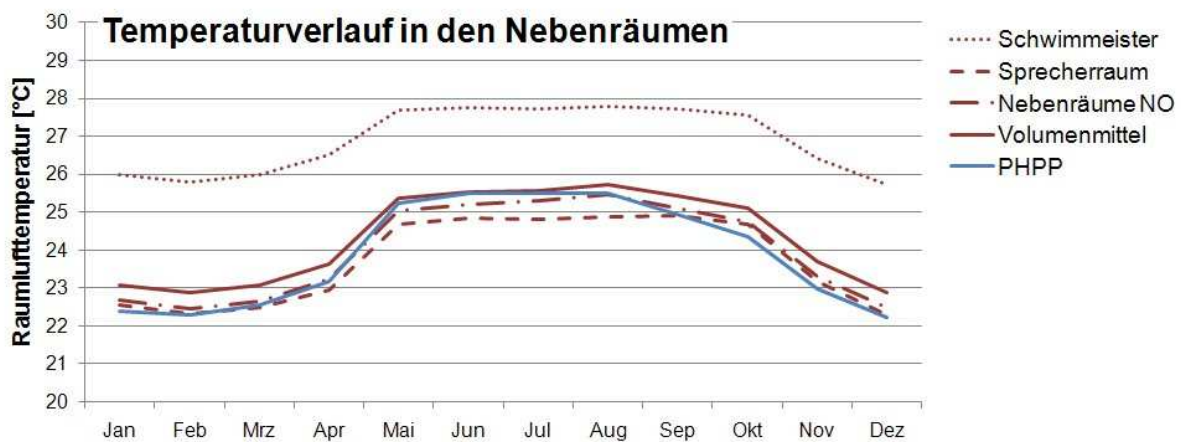


Abbildung 52: Die monatsmittleren Temperaturen der Nebenräume. In rot die Ergebnisse der dynamischen Simulation und in blau die der stationären Energiebilanz.

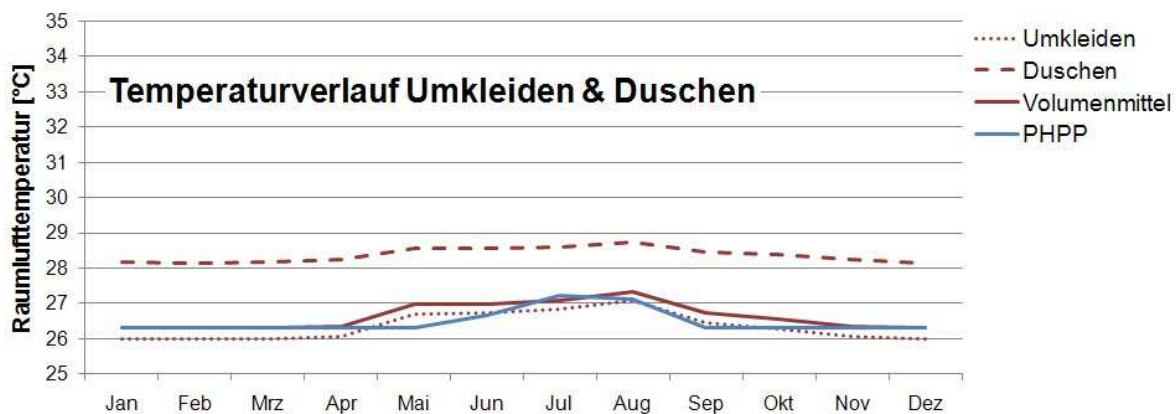


Abbildung 53: Die monatsmittleren Temperaturen der Umkleiden und Duschen. In rot die Ergebnisse der dynamischen Simulation und in blau die der stationären Energiebilanz.

Die sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse qualifiziert das stationäre Berechnungsverfahren nach PHPP. Der Vergleich zeigt aber auch, dass im Einzelfall darauf geachtet werden muss, ob die Temperaturverhältnisse in speziellen Räumen deutlich von den berechneten Mittelwerten abweichen. Abweichungen des berechneten Energiebedarfs zu dem tatsächlichen Energieverbrauch sind nicht auszuschließen und auf Grund nicht vorhersehbarer Nutzungsparameter sogar zu erwarten. Diese Parameter sind in einem so komplexen Gebäude nur schwer vorauszusagen, können aber das Endergebnis erheblich beeinflussen. Dies betrifft insbesondere die Schwimmbadtechnik und das Besucherverhalten bzw. Nutzungsprofil des Bades.

Die Ergebnisse zeigen deutlich den großen Einfluss der Verdunstung, welche wiederum u. A. von der Wasserbewegung, also dem Betriebszustand (Nutzung durch Freizeitschwimmer, planschende Kinder, Schulschwimmen etc.) beeinflusst wird. Auch die erforderlichen Pumpenleistungen und Beleuchtungszeiten können nur schwer präzise abgeschätzt werden, da sie von der Nutzung des Bades abhängen. Alle hier aufgeführten Ergebnisse sind daher als vorläufige Prognosen zu sehen.

6.4 Vergleich der Energiebilanzen des Lippe Bades als Passivhaus wie geplant und nach EnEV

Um die eingesparte Energiemenge des in diesem Bericht vorgestellten Hallenbades mit PH-Ansatz gegenüber einem konventionellen Hallenbad Neubau zu beurteilen, wurde eine Variante der Energiebilanz erstellt. Hierfür wurde dasselbe PHPP verwendet, in dem die Gebäudeeigenschaften angepasst wurden um einem Neubau nach EnEV zu repräsentieren. Die wesentlichen Unterschiede der Varianten sind in Tabelle 6 aufgelistet. Zur Vollständigkeit enthält die Tabelle in einer dritten Spalte

zusätzlich die aktualisierte Kennwerte des Passivhaus-Bades (Stand Juli 2011). Alle Werte wurden in Zusammenarbeit des PHI und ENERATIO erarbeitet.

In Abbildung 54 sind zwei Sankey Diagramme dargestellt, die die Ergebnisse für beide Gebäude im Vergleich grafisch darstellen. Gezeigt werden in rot die berechneten Wärmemengen und in braun die verschiedenen Komponenten des Strombedarfs. Im linken Teil der Grafik ist die Deckung der einzelnen Bedarfsbereiche (Raumwärme, Warmwasser, sowie des bilanzierten Strombedarfs aus den vier zur Verfügung stehenden Energiequellen (BHKW Raumabwärme, BHKW Kondensationsabwärme, Fernwärme und Strom) dargestellt. Rechts in den Diagrammen ist der sich aus dem berechneten Endenergiebedarf und der angesetzten Primärenergiefaktoren ergebende Gesamt-Primärenergiebedarf abzulesen. Wie weiter oben erwähnt, wird ein erheblicher Teil des Wärmebedarfes des Bades durch ansonsten nicht nutzbare Abwärme des BHKWs gedeckt. Da diese Abwärme nicht in unbegrenzter Menge zur Verfügung steht, verringert sich ihr Anteil am Gesamtwärmebedarf bei der Variante EnEV. Damit erhöhen sich die Primärenergiefaktoren für diese Variante.

Mit dem in diesem Bericht beschriebenen Passivhaus-Hallenbad (vorläufiger Projektierungsstand) können demnach etwa 52% Endenergie bzw. ca. 46% Primärenergie gegenüber einem typischen Neubau eingespart werden.

Tabelle 6: Kenndaten der Varianten Passivhaus und EnEV

Maßnahme	Passivhaus-Hallenbad		EnEV Standard
	Vorläufiger Stand September 2010	Änderungen bis Stand Juli 2011 ²	
Hallenfeuchte	64% relative Feuchte	unverändert	14,3 g/kg absolute Feuchte (entspricht 50,6% rel. Feuchte)
Mindestaußenvolumenstrom Hallenlüftung	15% des Auslegungswertes nach EnEV	unverändert	30% des Auslegungswertes nach EnEV
Hallenumluft	Keine Umluft	Differenz zu 50% des Außenluft-Auslegungswertes nach EnEV als Umluft ³	Differenz zum Auslegungswert der Lüftungsgeräte als Umluft
Lüftung in den Nebenzonen	Konstant nach Planung des Haustechnikers, Bedarfsregelung ist vorgesehen	Luftmengen in Abhängigkeit der Luftqualität	Konstant
Stromeffizienz der Lüftungsgeräte	0,45 Wh/m ³	0,25-0,4 Wh/m ³	0,9 Wh/m ³
WRG ⁴	Hallen: 70% Umkleide/Duschen: 75% Foyer: 79% Nebenzonen: 65% Keller: 62%	Hallen: 77% Umkleide/Duschen: 80% Foyer: 86% Nebenzonen: 86% Keller: 64%	Hallen: 65% Umkleide/Duschen: 65% Foyer: 69% Nebenzonen: 55% Keller: 52%
Luftdichtheit	0,2	unverändert	1
U-Werte (im Mittel) W/m ² K	Außenwände (inkl. Trennwände zu Bestandsgebäude): 0,13 W/(m ² K) Boden/Kellerwände: 0,13 W/(m ² K) Dach: 0,11 W/(m ² K) Alle Trennwände innen: 1,7 W/(m ² K)	unverändert	Außenwände (inkl. Trennwände zu Bestandsgebäude): 0,88 W/(m ² K) Boden/Kellerwände: 1,19 W/(m ² K) Dach: 0,53 W/(m ² K) Alle Trennwände innen: 2 W/(m ² K)

² Es gibt auch an anderen Stellen der Energiebilanz Aktualisierungen gegenüber des vorläufigen Standes, der in diesem Bericht vorgestellt wird. Sie werden aus Übersichtlichkeitsgründen an dieser Stelle nicht aufgeführt.

³ Eine Validierung in wie fern die Umluftmenge in der Praxis tatsächlich reduziert werden kann ohne dass die Luftqualität beeinträchtigt wird ist Bestandteil des Monitorings. Es wird angestrebt ganz ohne Umluft auszukommen.

⁴ Die hier genannten Werte des vorläufigen PH Projektierungsstandes wurden bewusst auf der sicheren Seite gerechnet, für den EnEV Standard wurden für die Nebenzonen pauschal 10% abgezogen. Da die Lüftungsgeräte der Nebenzonen teilweise verschiedene Temperaturbereiche versorgen, wurde die WRG der Geräte mit einer gemischten Abluft auf die entsprechenden Zonentemperaturen umgerechnet, sie reflektieren daher nicht direkt die Effizienz der eingesetzten Geräte.

Fensterqualität	Mittlerer U-Wert (mit Rahmen): 0,715 W/m ² K g-Wert : 0.46-0.55	Mittlerer U-Wert (mit Rahmen): 0,745 W/m ² K g-Wert : unverändert	Mittlerer U-Wert (mit Rahmen): 1,446 W/m ² K0 g-Wert : 0,64
Filterspülung	Ultrafiltration ⁵ 13.500 m ³ /a	unverändert	Druckfilteranlage 13.000 m ³ /a
Filterwasseraufbereitung	ca. 70%	unverändert	ca. 70%
Duschwasser	18 l/Person	30 l/Person	30 l/Person
Wärmerückgewinnung aus Abwasser	30%	unverändert	0%
Strom der Verbraucher ⁶	<u>Heizung/Sanitär:</u> 28.354 kWh/a <u>SBT:</u> 359.939 kWh/a <u>Anwendungen:</u> Noch nicht bekannt, daher vernachlässigt. Einsparungen gegenüber EnEV möglich! <u>Beleuchtung:</u> 73.200 kWh/a	<u>Heizung/Sanitär:</u> 22.875 kWh/a <u>SBT:</u> 221.981 kWh/a <u>Anwendungen:</u> Wird noch ermittelt <u>Beleuchtung:</u> 61.857 kWh/a	<u>Heizung/Sanitär:</u> + 50% des vorläufigen Standes <u>SBT:</u> + 30% des vorläufigen Standes <u>Anwendungen:</u> Vernachlässigt. <u>Beleuchtung:</u> +10% des vorläufigen Standes
Beckendurchspülung	Umwälzung auch während des Tages in Abhängigkeit der tatsächlichen Personenzahl (Laser-Personen-Scanning)	unverändert	Konstante Umwälzung

⁵ Bei der Ultrafiltration wird zwar mehr Wasser zur Filterspülung benötigt, dafür kann das Umwälzvolumen erheblich gesenkt werden was sich auf den Pumpenstromverbrauch auswirkt.

⁶ Der Stromverbrauch hängt nicht nur von den eingesetzten Geräten ab sondern auch stark vom Nutzerverhalten und der Regelung. Die angesetzten Zahlen sind Schätzungen basierend auf der bekannten Kennwerte und wahrscheinlichen Laufzeiten der Hauptverbraucher.

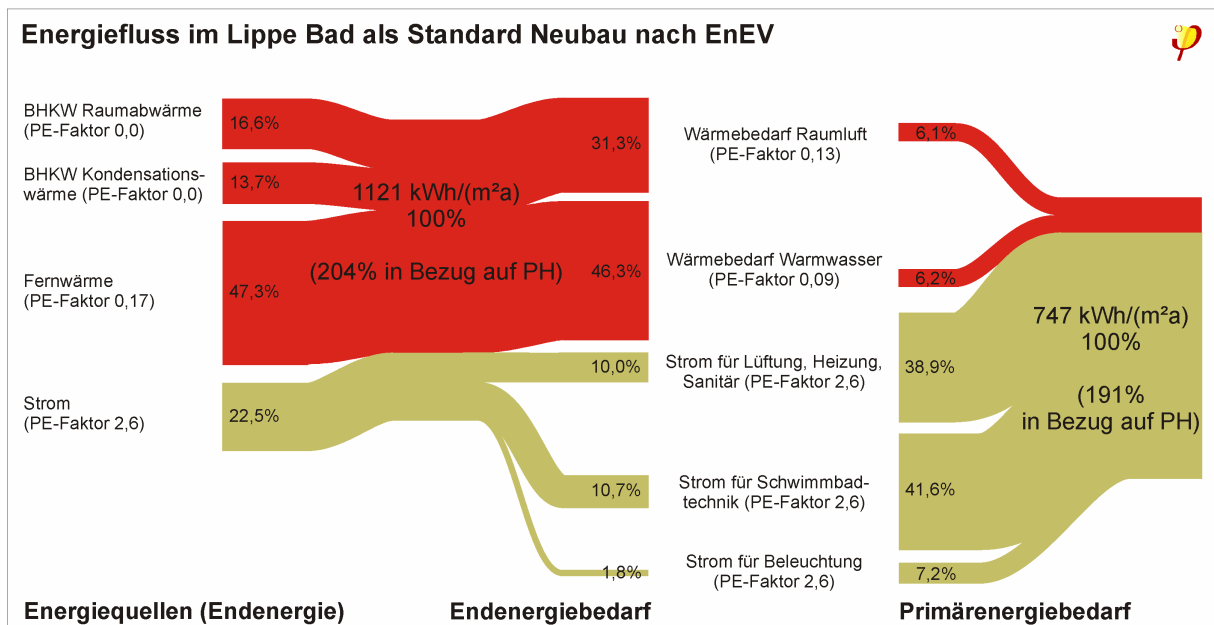
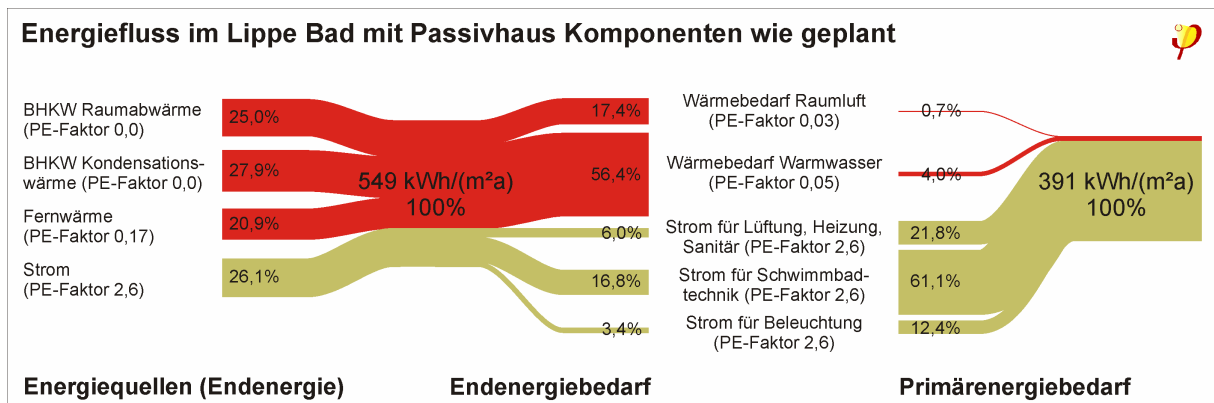


Abbildung 54: Grafische Darstellung des Energiebedarfes der Varianten PH und EnEV

7 Reinigungskonzept

Die Gewährleistung und Wahrnehmung von Hygiene über alle Bereiche ist als Behaglichkeitsfaktor erster Ordnung für das Wohlbefinden der Badnutzer bestimmend.

In Teamarbeit mit den im Betrieb der Hallenbad-Altstandorte langjährig erfahrenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Bädergesellschaft Lünen wurde bereits zu Planungsbeginn ein Anforderungsprofil zum Reinigungskonzept erarbeitet. Die einzelnen Merkmale des Anforderungsprofils wirken dabei sehr bestimmend auf den gesamten Gestaltungsprozess des Hallenbadneubaus.

In diesem Bericht zur integrierten Planung des Hallenbadneubaus stehen die konstruktiven Elemente für ein günstiges Reinigungskonzept im Vordergrund.

7.1 Anforderungsprofil

Sauberlaufzone

Um den Schmutzeintrag in das Bad über das Schuhwerk der Besucher zu reduzieren, ist eine kombinierte Sauberlaufzone auszugestalten.

Bodenbelag und Belagsfugen

Es besteht die Forderung nach einem möglichst einheitlichen Reinigungssystem. Die Erfüllung dieser Anforderung wird über den Einsatz eines einheitlichen Bodenbelags grundsätzlich begünstigt.

Da Fugen erfahrungsgemäß Problemstellen bei der Reinigung sind, ist der Fugenanteil des Bodenbelags absolut gering zu halten. Auch sollen Belagsfugen im Übergangsbereich zwischen Boden und aufstehender Wand weitestgehend vermieden werden. Als Lösungsansatz wird die Ausbildung einer Kehle im Übergangsbereich Boden zu aufstehender Wand angesehen.

Maschinell gestützte Boden-Nassreinigung

Die Ausgestaltung der inneren Verkehrswege (einschließlich der Beckenumgänge und der Umkleide- und Sanitärbereiche) soll günstige Einsatzbedingungen für eine maschinell gestützte Boden-Nassreinigung (Scheuersaugmaschine) gewährleisten.

Für die Optimierung der Reinigungsprozesse sollen frühzeitig Beratungsgespräche mit unterschiedlichen Herstellern von Belägen, Reinigungsmaschinen und Reinigungsmitteln geführt werden, um deren Maßgaben und Erfahrungen zu ähnlich gelagerten Einsatzfällen in die Lösungsansätze einfließen zu lassen.

Zur Optimierung des Personaleinsatzes wird die Unterhaltsreinigung der Beckenumgänge in Öffnungszeiten mit geringer Besucherzahl angestrebt (Schwachlastzeiten wie beispielsweise die ersten 1,5 Öffnungsstunden von 6:15 Uhr bis 7:45 Uhr).

Verglasungsflächen

Vermeidung von vertikalen, bis auf den Boden reichenden Verglasungsflächen.

Im Schwimmhallenbereich werden meist auch große Glasflächen dauerhaft und stark mit Spritzwasser belastet. Für ein sauberes Erscheinungsbild bedarf es entsprechender Reinigungshäufigkeit. Das ist nachteilig. Zusätzlich sind bodennahe

Glasflächen arbeitsphysiologisch beurteilt nur schwer zu reinigen (kniend/hockend bei gebeugtem/verdrehem Rücken, insgesamt ungünstige Haltungswichtung).

Bodengefälle in Nassbereichen

Funktionale Gefälleausbildung in den mit Wasser belasteten Bodenbereichen, insbesondere der Beckenumgänge.

Über den Wasserablauf von der benetzten Körperoberfläche der Badnutzer wird permanent Wasser auf die Beckenumgänge getragen. Das Wasser auf den Beckenumgängen soll effektiv abgeleitet werden, da zum einen mit Nässe belastete Oberflächen in der Regel an sicherheitsrelevanter Rutschhemmung einbüßen (Wasser wirkt als Gleitmittel) und zum anderen die nassen Oberflächen des Beckenumgangs eine größere Phasengrenzfläche Wasser/Raumluft begründen (Verdunstung in die Raumluft), wodurch der Energiebedarf im Hallenbad unter üblichen Betriebsbedingungen tendenziell steigt.

7.2 Lösungsansätze zum Anforderungsprofil

7.2.1 Gestaltung der Sauberlaufzone

Bezogen auf eine durchschnittliche Schrittlänge von rund 63 cm besteht der erste Abscheidebereich der Sauberlaufzone aus drei Schritten auf einem Gitterbodenrost auf dem äußeren, überdachten Zugangsbereich zur Haupteingangstür (Abscheidung von Grobschmutz). Danach anschließend sind 6 bis 7 Schritte auf einer speziellen Sauberlaufmatte innerhalb des Windfangs zum Foyer erforderlich (Abscheidung von feineren Schmutzanhaftungen des Schuhwerks).

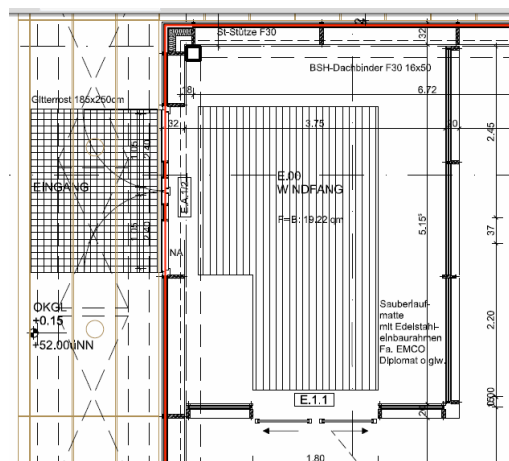


Abbildung 55: Sauberlaufzone im Gebäudezugang, Detailausschnitt des Erdgeschossplans (Quelle: ntspv)

Der 90° Richtungswechsel innerhalb des Windfangs (vgl. Abbildung 55) wurde dabei bewusst eingeplant, um die Durchgangsgeschwindigkeit und die Schrittlängen der Besucher tendenziell zu reduzieren. Es wird auch vermutet, dass durch zusätzliche Scherkräfte zwischen Schuhsohle und Oberfläche der Sauberlaufmatte im Begehen des Kurvenbereichs eine verbesserte Schmutzabscheidung einsetzen wird.

7.2.2 Bodenbelag zum Anforderungsprofil

Als Bodenbelag mit geringstem Fugenanteil empfehlen sich strukturierte Kunststoffbeläge, die theoretisch als Bahnenware über 40 m² fugenlos zu verlegen sind (gängige Abmessungen sind 2,0 m * 20 m). Es sind einzelne Standorte bekannt (vornehmlich im Ausland), wo in Schwimmbädern und den zugehörigen Sanitärräumen Bahnenwaren aus PVC eingesetzt wurden, teils auch als Wandbelag. Die Gestaltungsmöglichkeiten und Designs sind vielfältig. Dabei handelt es sich um einen elastischen, wasserfesten, dichten Bodenbelag, wobei als Trägerschicht in der Regel maßstabiles Glasfaservlies genutzt wird. Die Rutsicherheit solcher Böden (z. B. R10 nach BGR 181) wird meist durch Strukturierung mittels Oberflächennoppen erzielt (je nach Hersteller unterschiedliche Noppendurchmesser, unterschiedliche Anzahl an Noppen je Flächeneinheit, ggf. auch ergänzt über mineralische Einstreuungen). Unterschiedliche Belagshersteller halten dazu Lösungsansätze mit dem Titel „Nassraumkonzept“ vor.

In weiteren Einsatzbereichen wie Zügen und Bussen und auch in Reinräumen hat sich diese Belagsart aufgrund des Verschleißverhaltens, der weitreichenden Beständigkeit, der Dichtheit und der allgemein guten Reinigungsfähigkeit bewährt. In vielen Anwendungsbereichen wird auch die mit den PVC-Belägen zu erzielende Trittschallverbesserung als vorteilhaft erachtet.

In Barfußbereichen wird ein geringer, vergleichsweise dem Material Holz ähnlicher Wärmeeindringkoeffizient als günstig passend zum Einsatzbereich angesehen. Über Behaglichkeitsuntersuchungen (unbekleidete Füße auf unterschiedlichen Belägen) zeigte Fanger, dass die Barfuß-Behaglichkeitsbodentemperatur bei einem Belag aus Holz, Kork oder PVC rund 2,5 K niedriger liegt als die für Beton-, Stein- oder Marmorbeläge. Demnach ist die Verwendung eines Bodenbelags mit geringem Wärmeeindringkoeffizient ein passender Baustein für das Lippe Bad, da aufgrund der simulierten Lufttemperaturen im Keller (stationärer Betrieb, Kellerlufttemperatur erwartungsgemäß um 29°C) auf eine sonst übliche Fußbodenheizung innerhalb der Barfußgänge im Erdgeschoss verzichtet wird.

Auch die Verarbeitungs- und Verlegemerkmale eines PVC-Bodenbelags können dem Anforderungsprofil weitreichend entsprechen (kleben, schweißen (PVC zu PVC),

klemmen). So lässt sich über ein Hohlkehprofil unterstützt der Bodenbelag fugenlos als Wandsockel aufgehend verlegen (Wannenausbildung), vgl. Abbildung 56. Für den Materialübergang PVC-Belag (Sockel) zu Wandbelag werden spezielle Übergangs- bzw. Verbindungsleisten angeboten.

Für die weiteren Detailplanungen zum Einsatz eines PVC-Bodenbelags wurde der einschlägig tätige Gutachter Torsten Grotjohann des Instituts für Fußbodenbau (iff, <http://www.fussboden-gutachter.de>) in das Planungsteam integriert.

7.2.3 Lösungsansätze zur maschinell gestützten Boden-Nassreinigung, zu den Verglasungsflächen und dem Bodengefälle in Nassbereichen

Die konstruktiven Merkmale dieser Lösungsansätze zum Anforderungsprofil greifen ineinander. Zur Erläuterung wurde deshalb eine Gesamtdarstellung gewählt (vgl. Abbildung 56).

Um eine bis auf den Boden reichende Verglasung zu vermeiden, wurde im Bereich der Glasfassaden eine Brüstung vorgesehen. Die Brüstungshöhe wurde so gewählt, dass diese auch als Sitzfläche dienen kann.

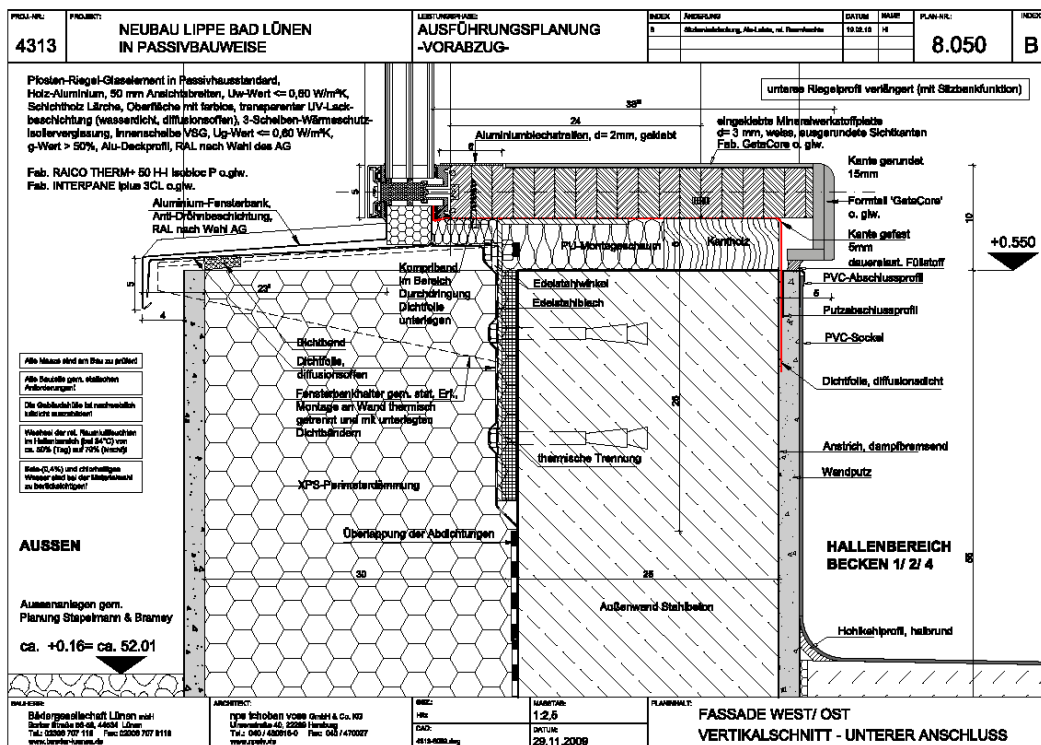


Abbildung 56: Detail Vertikalschnitt Glasfassade/Brüstung im Bereich der Außenwand (Quelle: ntspv)

Bezogen auf die Tageslichtversorgung in die Raumentiefe geht mit der dargestellten Brüstungssituation kein Nachteil einher, da der untere, bodennahe Glasanteil einer Fassade dazu keinen nennenswerten Beitrag leistet. Hinsichtlich der Baukosten ist davon auszugehen, dass die flächenbezogenen Baukosten der Brüstung, trotz deutlich günstigerem U-Wert, geringer sind als die der Fassadenkonstruktion mit Dreifachverglasung.

Bei sonst üblicher Beckengestaltung, wobei das Niveau der Wasseroberfläche ungefähr dem Niveau des Beckenumgangs entspricht, ergeben sich zwei Dinge, die nicht zu dem Anforderungsprofil passen würden. Zum einen könnte keine Reinigung der Beckenumgänge während Schwachlastnutzungszeiten durchgeführt werden und zum anderen würden die Schwimmerinnen und Schwimmer gegen die Brüstungsflächen unterhalb der Glasflächen blicken.

Befinden sich Wasseroberfläche und Beckenumgang auf annähernd gleichem Niveau, muss während der Nassreinigung der Beckenumgänge die Überlaufrinne des Beckens umgeschaltet werden, d. h. es muss sichergestellt werden, dass keine Schmutzflotte in den Badewasserkreislauf gelangt. Diese erforderliche Umschaltung würde eine Unterhaltsreinigung der Beckenumgänge bei gleichzeitigem (Schwachlast-) Schwimmbetrieb also nicht zulassen.

Weiterhin ist die möglichst großzügige Sichtverbindung für Schwimmer/Innen vom Niveau der jeweiligen Wasserfläche nach Außen ein wichtiges Qualitätsmerkmal moderner Schwimmhallen. Dieser Ausblick wird über beschriebene Brüstung im Fassadenbereich nachteilig eingeschränkt.

Zur Lösung wurde deshalb die Beckenwasseroberfläche analog zur Fensterbrüstung angehoben. So kann auch der Beckenkopf als Sitzfläche ausgebildet und genutzt werden. Für die Schwimmer/Innen ergibt sich eine unbehinderte Sichtverbindung nach Außen und eine Rinnenumschaltung während der Nassreinigung der Beckenumgänge ist aufgrund der Höhendifferenz zwischen Boden und Beckenwasseroberfläche nicht erforderlich.

Eine Fuge zwischen Bodenbelag und aufstehender Beckenwand wird durch die Weiterführung des PVC-Bodenbelags auf die äußere Beckenwand mittels Ausbildung einer Hohlkehle vermieden. Die Ausführungsdetails des Belags sind hierbei vergleichbar denen der Fassadenbrüstung, vgl. Abbildung 57.

Mit dieser Gestaltung ergeben sich weitere Aspekte:

- Die am Beckenumgang aufstehende Beckenwand bietet eine gewisse Barriere gegen das Springen in das Wasser vom Beckenrand in dafür nicht zugelassenen Bereichen
- Für das Führen der Reinigungsmaschine ergibt sich ein Schutz gegen das Abstürzen in das Becken
- Durch die höher liegende Beckenwasser Oberfläche kann ggf. Bauhöhe im Kellerbereich (ca. 30 bis 35 cm) eingespart werden, sofern die dort befindliche und Bauhöhen bestimmende Infrastruktur/Technik (z. B. die Filter der Badewasseraufbereitung) dies auch zulässt
- Durch die Ausgestaltung des Beckenkopfes als Sitzfläche im Sportbad können andere Sitzgelegenheiten zumindest teilweise reduziert werden, die zum einen den Beckenumgang einengen (z. B. fest installierte Wärmebänke) oder aber zur Bodenreinigung stets zu räumen sind (Möbiliar wie Sitzbänke oder Stühle)

Der effektiven Ableitung des im Betrieb permanent anfallenden Wassers auf den Beckenumgängen wird konstruktiv begegnet. Der erfahrungsgemäß bedeutendste Wassereintrag auf die Beckenumgänge stammt vom Wasserablauf der benetzten Körperoberflächen. Besonders stark ist der Beckenwasseraustrag auf die Beckenumgänge im Bereich der hoch frequentierten Beckenleitern und Austrittsstufen. Hier gilt es im Besonderen, anfallendes Wasser zügig abzuleiten.

Durch den Einsatz einer Entwässerungsschlitzrinne mit Sohlgefälle (Linienentwässerung), parallel zum und nahe dem äußeren Beckenrand, wird eine funktional verbesserte Entwässerung der Beckenumgänge im Vergleich zu punktuell angeordneten Bodeneinläufen mit vierseitigem Gefälle erwartet. Da das Längsgefälle über die Rinnensohle erreicht wird, kann der Beckenumgang in Längsrichtung waagrecht ausgebildet werden. Durch die Positionierung nahe dem Beckenrand wird das an Beckenleitern und Beckentreppen ausgetragene Beckenwasser zügig abgeleitet. Dies gilt auch für das auf der Beckenkopfsitzfläche anfallende Beckenwasser. Abbildung 57 zeigt eine Schnittdarstellung zur Erläuterung der Konstruktion.

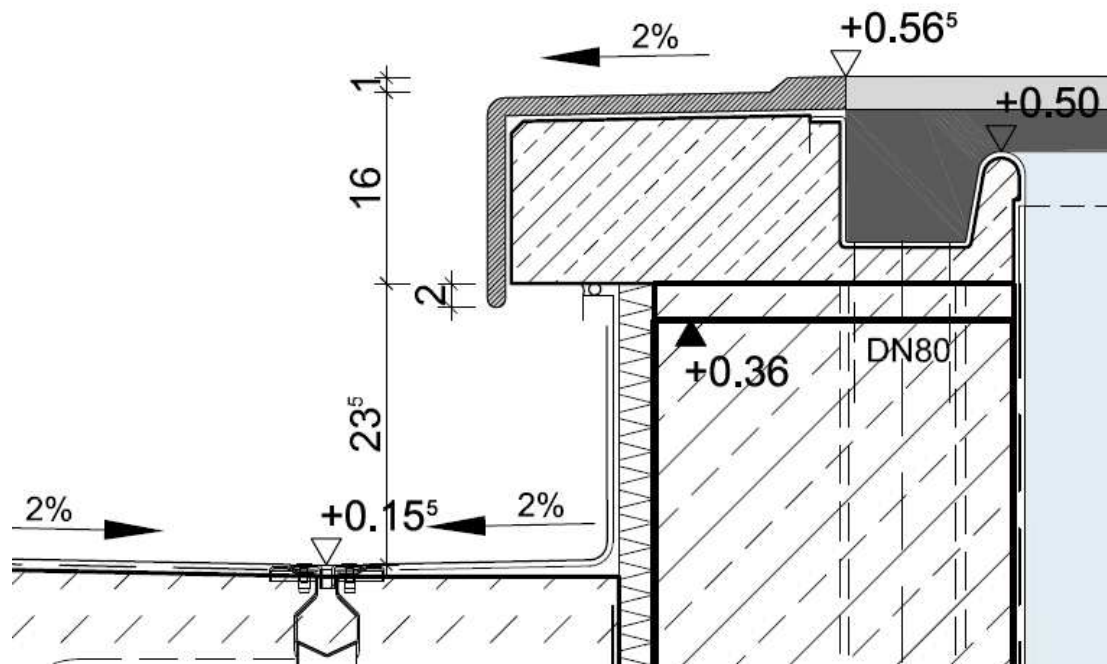


Abbildung 57: Vertikalschnitt von Beckenkopf und Beckenumgang, Schlitzrinne im Beckenumgang mit Sohlgefälle, Bodenquergefälle zur Schlitzrinne, Anschluss des PVC-Bodenbelags an der Schlitzrinne mittels Klemmflansch, an der Beckenwand fugenlos hoch geführter Bodenbelag (Wannenausbildung über Hohlkehle), Beckenkopf als Sitzfläche ausgebildet. Der Kunststoffbodenbelag kann mittels Klemmflansch dicht an die Schlitzrinne angeschlossen werden (Quelle: ntspv).

Abbildung 58 zeigt ein von der Firma Blücher Germany (www.bluecher.de) hergestelltes Edelstahlmodell (Edelstahl) der Schlitzrinne mit Sohlgefälle.



Abbildung 58: Edelstahlmodell der Schlitzrinne mit Sohlgefälle und Klemmflansch zum wasserdichten Anschluss von Bodenbelägen aus Kunststoff (Quelle: Blücher)

Das Erscheinungsbild der erläuterten und über Schnittdarstellungen vorgestellten Gestaltung wird folgend über fotorealistische Visualisierungen des Lippe Bades aus der integrierten Planungsphase (Abbildung 59 bis Abbildung 61) wiedergegeben.



Abbildung 59: Visualisierung des Bereiches mit Hubbodenbecken (Grafik: npstv)

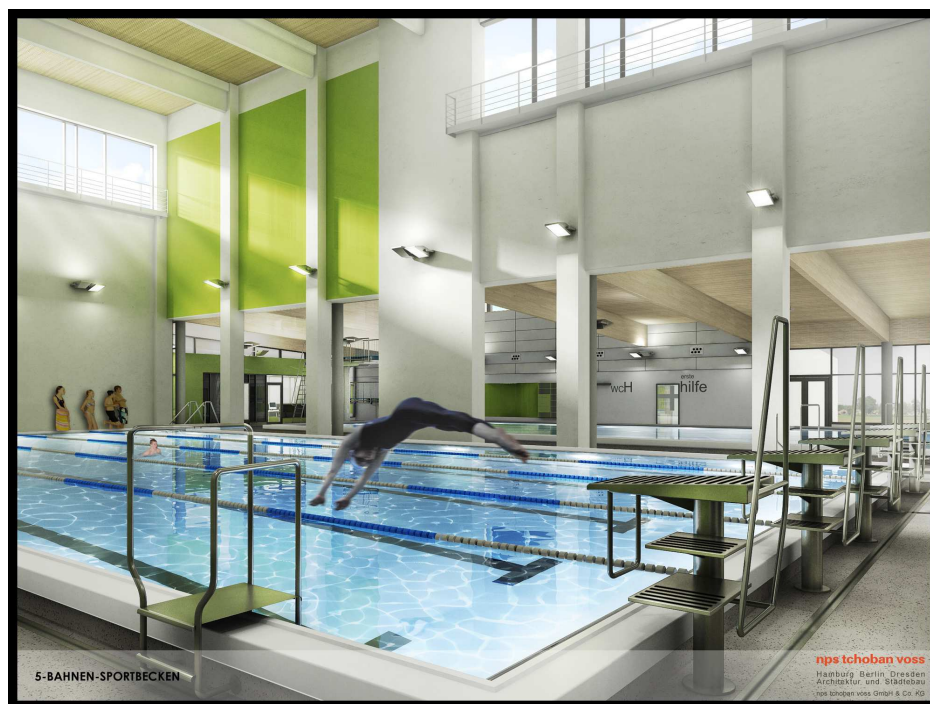


Abbildung 60: Visualisierung des Bereiches mit dem 5 Bahnen (25 m lang) Sportbecken in der nach Passivstandard aufgearbeiteten Halle des ehemaligen Fernheizwerkes (Grafik: npstv)



Abbildung 61: Visualisierung des Bereiches mit dem 4 Bahnen (25 m lang) Schwimm- und Sprungbecken (3 m Sprungplattform, 1 m Sprungbrett) (Grafik: npstv)

Das System der Schlitzrinnenentwässerung soll auch in den Sanitär- und Umkleidebereichen zur funktionalen Gefälleausbildung eingesetzt werden, ebenso der bereits im Vorgenannten beschriebene Kunststoffbodenbelag.

Für die Duschräume wurden seitens der Stadtwerke Lünen spezielle Duschsäulen mit jeweils 8 Duschplätzen entwickelt (2 Duschsäulen je Geschlecht). Abbildung 62 zeigt Seitenansicht und Draufsicht der Duschsäule.

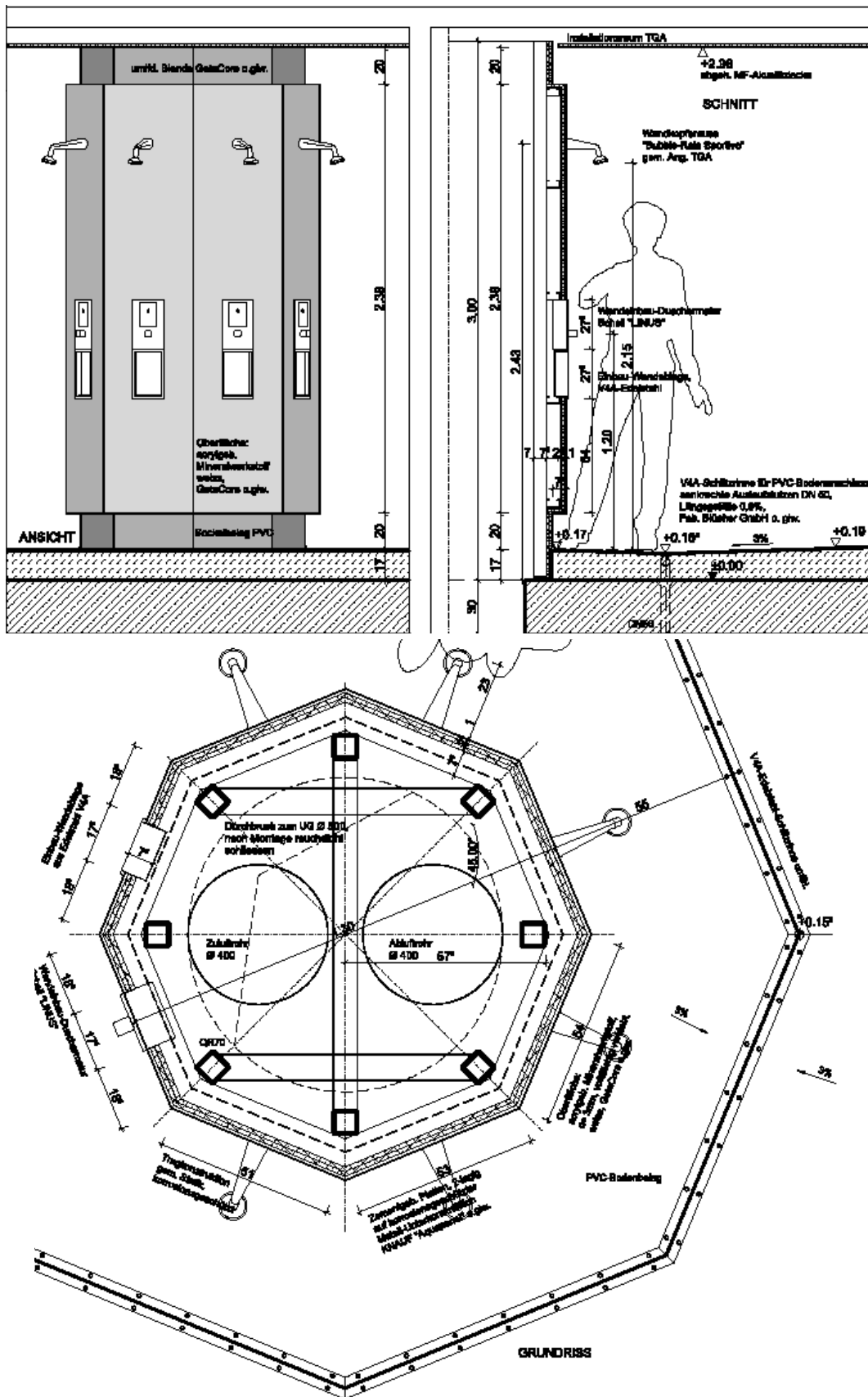


Abbildung 62: Seitenansicht und Draufsicht der Duschsäule (Ausschnitt) (Quelle: npstv)

Die Platzierung der Duschsäulen in Raummitte soll das Spritzwasser an die Raumwände minimieren und auch verbesserte Rahmenbedingungen zum Einsatz von geführten Reinigungsmaschinen gewährleisten.

Auf dem Boden wird das Duschabwasser über eine umlaufende Schlitzrinne abgeleitet. Auch diese Schlitzrinne verfügt über einen Klemmflansch. Die funktionstechnischen Bestandteile der zur Aufstellung vorgefertigten Duschsäulen (Wasserleitungen, Armaturen, Lüftungsrohre) werden von unten ausgehend durch die Kellerdecke versorgt. Der Innenraum der Duschsäulen ist für Inspektionen nach dem Ausbau von Lüftungsrohr-Passstücken vom Keller aus prinzipiell zugänglich gestaltet.

Im Rahmen von Vorarbeiten zum Reinigungskonzept wurden mehrere Gespräche mit Herstellern von Kunststoffbodenbelägen (z. B. www.altro.de), Reinigungsmaschinen (Gansow, Nilfisk, Kaercher, Hefter-cleantech) und Reinigungschemikalien (z.B. Witty, Dr. Nuesken) geführt. Dabei zeigte sich, dass eine Optimierung des Reinigungssystems für den jeweiligen Boden (Belagsart und individuelle Schmutzbelastung, Gerätetechnik und Bürstenart, bedarfsgerechter/minimaler Chemikaliensatz) nicht allgemeingültig abzuleiten ist, sondern über Erfahrungen im Praxiseinsatz unterschiedlicher Systemkonfigurationen zu leisten sein wird.

Hinsichtlich der Reinigungsmaschinen werden je nach Raumfläche bzw. Wegebreiten zwei Konfigurationen nach Sichtung der Gebäudepläne empfohlen.

Zum Einsatz auf den Beckenumgängen und anderen vergleichbar breiten Verkehrswegen wird eine personengeführte Scheuersaugmaschine (Elektroantrieb, Batterie um 180 Ah, maximale Geschwindigkeit des Fahrantriebs 4 bis 5 km/h) mit zwei gegenläufigen Bürstentellern empfohlen. Dabei liegen die Arbeitsbreiten zwischen 600 und 700 mm (Saugbreiten zwischen 900 und 1.050 mm). Die Reinigungschemikalien werden während des Einsatzes der Maschine automatisch dosiert und der Frischwasser- und Saugwassertank fasst zwischen 60 und 90 Liter. Das Leergewicht einer solchen Maschine beträgt zwischen 160 und 210 kg. Für diese Maschine bedarf es ausreichend Platz in einem dazu ausgestatteten Reinigungsgeräteraum (Elektroladestation, Frischwasserversorgung, Saugwasserentsorgung, Chemikalienbefüllung).

Zum Einsatz in kleineren Räumen und auf schmäleren Verkehrswegen wird eine personengeführte Scheuersaugmaschine (Elektroantrieb, Batterie um 80 Ah) mit einem Bürstenteller empfohlen. Dabei liegen die Arbeitsbreiten um 450 mm (Saugbreiten um 700 mm). Auch hier können je nach Ausstattung die Reinigungschemikalien während des Einsatzes der Maschine automatisch dosiert werden. Der Frischwasser- und Saugwassertank fasst ca. 25 Liter. Das Leergewicht einer solchen Maschine beträgt zwischen 40 und 50 kg. Auch für diese Maschine

bedarf es ausreichend Platz in einem dazu ausgestatteten Reinigungsgeräteraum (Elektroladestation, Frischwasserversorgung, Saugwasserentsorgung, Chemikalienbefüllung).

Die Gerätehersteller raten dazu, das erfahrene Reinigungspersonal in die Entscheidung zum Einsatz einer Reinigungsmaschine auf kleineren Flächen und schmalen Fluren einzubinden. Hier ist nicht generell die maschinelle Reinigung vorteilhaft. Der individuelle Verschmutzungsgrad, die Rüstzeit der Maschine und der Aufwand der Ränderreinigung sind für die Entscheidung zum maschinellen oder manuellen Reinigungsprozess zu bewerten. Zur Führung und Betreuung der Reinigungsmaschinen bedarf es der Personalunterweisung und einer praktischen Trainingsphase unter Anleitung.

Lobenswert zu erwähnen bleibt, dass alle angesprochenen Reinigungsgerätehersteller diese Unterweisung und das Handhabungstraining für das Projekt Lippe Bad kostenlos und unverbindlich angeboten haben. Ebenso wurde seitens der Geräte- und Chemikalienspezialisten signalisiert, den Optimierungsprozess zum Reinigungskonzept Lippe Bad engagiert zu begleiten.

7.2.4 Eingetretene Neuerungen im Rahmen des Projektfortschritts

Im Rücklauf der Ausschreibungen zum PVC-Bodenbelag im Nassraumkonzept zeigte sich, dass kein Verlegeunternehmen die ausgeschriebenen Leistungen zur Ausführung angeboten hat. Selbst im direkten Kontakt vor Ort mit einem auf mehreren Spezialgebieten erfahrenen PVC-Verleger ergab sich keine Realisierungsmöglichkeit, da auch bei diesem Verleger die Unsicherheit zur Gewährleistung einer hochwertigen und in manchen Details auch handwerklich sehr anspruchsvollen Leistung dominierte. Aufgrund dieser Situation wurde der Bodenbelag auf Fliesenbelag (DIN EN 14411) mit entsprechender Rutschhemmung umgeplant. Für Foyer, Umkleidetrakt und Beckenumgänge wurden quadratische Fliesen mit 30 cm Rastermaß (Fugenanteil \square 3%) und für Toiletten- und Duschbereiche quadratische Fliesen mit 12,5 cm Rastermaß (Fugenanteil \square 6%) vorgesehen. Im Bereich aufgehender Wände und Aufbauten wurde auf dem Boden eine liegende Kehlsockelfliese vorgesehen, um die elastische Pflegefuge zur Wand ins Trockene zu heben. Das Entwässerungssystem über Edelstahl-Schlitzrinnen wurde generell beibehalten, wobei das System Klemmflansch (für PVC-Belag) auf Universalflansch (elastische Pflegefuge zum Fliesenrand) umgestellt wurde.

Die Fliesen, wie auch viele andere Oberflächenmaterialien des Lippe Bades wurden zur optimierten Abstimmung des Hygiene- und Reinigungskonzepts im Labor der Firma Dr. Nüsken untersucht. Die Kompetenz, das kundenorientierte Engagement

und die fachliche Begleitung des Reinigungspersonals in allen Belangen durch die Firma Dr. Nüsken überzeugten für die Zusammenarbeit zur Gewährleistung einer einwandfreien Schwimmbadhygiene.

Nach mehreren Erprobungsphasen von Scheuer-/Saugmaschinen zur Bodenreinigung durch eigenes, erfahrenes Fachpersonal wurde die Entscheidung für Maschinen des Herstellers Hefter-cleantech getroffen. Die praktische Erprobung über alle Reinigungsbereiche führte zu der Entscheidung, zwei baugleiche Maschinen (Turnado 55 pro, Arbeitsbreite 55 cm) in Einsatz zu bringen (allg. Qualitätsmerkmale, gute Handhabung, Reinigung unter Überbauungen, 360° drehbarer Schrubb- und Saugkopf, geringe Betriebsgeräusche, einheitliche Ersatzteile).

8 Akustikkonzept

Die Bädergesellschaft Lünen mbH hat bei der Planung des als Sportbad konzipierten Hallenbades Lippe Bad durch die Architekten nps tchoban voss GmbH & Co. KG, Hamburg, frühzeitig verschiedene Fachplaner am Planungsprozess beteiligt, um so durch eine integrierte Planung für alle Fachbereiche möglichst optimale Ergebnisse innerhalb eines vorgegebenen Kostenrahmens zu erzielen. Hierbei war als Besonderheit zu berücksichtigen, dass in den neu geplanten Gebäudekomplex mit verschiedenen Schwimmhallenbereichen und Nebenräumen das Bestandsgebäude eines ehemaligen Heizwerkes (Schwimmhalle Becken 5) mit integriert werden sollte.

Das neue Hallensportbad wird einerseits dem Schul- und Vereinssport (Parallelnutzung durch mehrere Klassen/Gruppen) und andererseits der Bevölkerung zum unorganisierten Freizeitsport zur Verfügung stehen.

Auf Wunsch der Bädergesellschaft sollte von Beginn an, der Raumakustik innerhalb des neuen Hallensportbades eine besondere Wertigkeit zukommen. Aufgabenstellung war deshalb, die zur Einstellung eines akustisch "hochwertigen" Raumklimas (hohe Raumschalldämpfung, geringe Geräuschpegel, gute Sprachverständlichkeit) erforderlichen raumakustischen Maßnahmen für folgende Bereiche anzugeben:

- | | |
|-------------------------|--|
| 1 Erholungsbecken 1 + 2 | (Warm- und Erholungsbecken und Eltern-Kind-Becken) |
| 2 Lehrschwimmbecken 3 | (mit Hubboden) |
| 3 Becken 4 | (Sportbecken mit 4 Bahnen) |
| 4 Becken 5 | (Sportbecken mit 5 Bahnen) |
| 5 Eingangsfoyer | (mit Kassenbereich) |
| 6 Umkleidebereich | |
| 7 Duschräume | |

Zur Orientierung bei der Definition der akustischen Anforderungen/Empfehlungen wurden die "Richtlinien für den Bäderbau" des Koordinierungskreises Bäder (KOK) sowie die DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen" herangezogen.

Die für die 4 Schwimmhallenbereiche ermittelten Raumvolumina V und die nach den "KOK-Richtlinien" anzustrebende Nachhallzeit $T_{\text{soll,KOK}}$ sowie die nach der DIN 18041 für Schwimmhallen anzustrebenden Nachhallzeiten $T_{\text{soll, DIN}}$ werden nachfolgend tabellarisch aufgelistet:

Raum	Volumen in m ³ V	Soll-Nachhallzeit in s	
		$T_{\text{soll,KOK}}$	$T_{\text{soll, DIN}}$
Erholungsbecken 1+2	3.000	1,7	1,9 (einzügig)
Lehrschwimmbecken 3	1.300	1,7	1,5 (einzügig)
Schwimmhalle Becken 4	3.550	1,7	1,6 (mehrzügig)
Schwimmhalle Becken 5	6.000	1,7	1,9 (mehrzügig)

Die Nachhallzeit eines Raumes ist abhängig von der Raumgröße (Volumen) und dem Schallabsorptionsvermögen der raumbegrenzenden Bauteile (Decke, Fußboden, Wände) sowie eventueller Einbauten (z.B. Garderobenschränke). Je länger die Nachhallzeit gewählt wird oder diese sich auf Grund der gewählten Bauteile ergibt, desto höhere Schallpegel werden später im Raum auftreten.

Vereinfacht: lange Nachhallzeiten = hohe Raumschallpegel
kurze Nachhallzeiten = niedrige Raumschallpegel

8.1 Planung

Bei der Ermittlung und Planung der erforderlichen raumakustischen Maßnahmen wurden in den Schwimmhallen vorrangig die Dachflächen sowie Teilflächen der Wände herangezogen. In den Nebenräumen wie Eingangsfoyer, Umkleieräume und Duschräume wurden ausschließlich die Dach- bzw. Deckenflächen berücksichtigt.

Für diese Flächen wurden zunächst verschiedene Varianten akustisch hochwirksamer Verkleidungen untersucht und empfohlen. Den speziellen Anforderungen eines Sportbades wie z.B. Ballwurfsicherheit in den Schwimmhallenbereichen und Feuchtebeständigkeit wurde hierbei Rechnung getragen. Durch die frühe Beteiligung

am Planungsprozess konnte darüber hinaus noch an zwei Stellen Einfluss auf die Planung genommen werden. So wurden zur Vermeidung unerwünschter Reflexionen und ggf. später auftretender "Flatterechos", die nach Süden orientierte Glasfassade im Bereich des Erholungsbeckens und im Bereich des Lehrbeckens sowie die nach Norden orientierte Glasfassade im Bereich der Schwimmhalle Becken 1 um 5° nach außen geneigt.

Für alle Dach- und Deckenflächen sieht die aktuelle Planung nun eine Ausführung aus Akustikelementen der Firma Ligno Trend Typ "Ligno Block Q3 Akustik alpha-Z1 plus" mit 25 mm Leistenbreite und 8 mm Fuge vor.

Die Schall absorbierend zu verkleidenden Wandflächen sollen mit Wandpaneelen der Firma Ecophon Typ "Wall Panel C / Super G" ausgeführt werden.

8.2 Zu erwartende Nachhallzeiten in den Schwimmhallenbereichen

Bereich Erholungsbecken 1 + 2

Im Bereich der Schwimmhalle Erholungsbecken ist die nach Süden orientierte Glasfassade um 5° nach außen geneigt. Die Dachfläche wird vollflächig mit den Akustikelementen "Ligno Block Q3 Akustik alpha-Z1 plus" ausgeführt. Die nördliche Wandfläche wird im oberen Bereich mit rd. 43 m² Wandpaneelen Typ "Wall Panel C / Super G" verkleidet. Damit ist im Bereich der Schwimmhalle Erholungsbecken eine mittlere Nachhallzeit von $T_m = 1,1$ s zu erwarten. Der Vergleich der mittleren Nachhallzeit mit den Vorgaben der KOK-Richtlinien von $T_{\text{soll,KOK}} \square 1,7$ s und den volumen- und nutzungsabhängigen Anforderungen der DIN 18041 von $T_{\text{soll,DIN 18041}} \square 1,9$ s zeigt, dass diese sicher erfüllt werden.

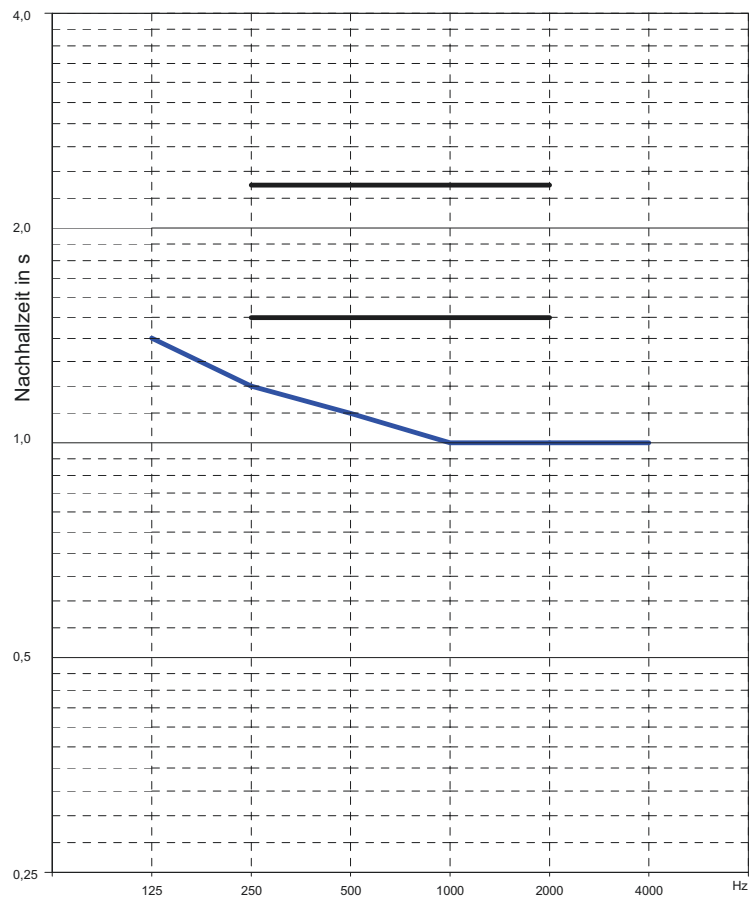
Raumakustische Maßnahmen

- 1) Dach Ligno Trend
Wand Ecophon

— $T_{m,1} = 1,1 \text{ s}$

Toleranzbereich nach
DIN 18 041 für Sporthallen
und Schwimmhallen

—



Raumzustand 1)

1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Der nach DIN 18041 anzustrebende Toleranzbereich wird von der frequenzabhängig berechneten Nachhallzeitkurve vollständig unterschritten, was hier nicht nur als erwünscht (besser als die Normvorgaben) sondern auch als akustisch vorteilhaft (hohe Raumschalldämpfung) anzusehen ist.

Lehrschwimmbecken 3

Im Bereich des Lehrschwimmbeckens ist die nach Süden orientierte Glasfassade um 5° nach außen geneigt. Die Dachfläche wird vollflächig mit den Akustikelementen "Ligno Block Q3 Akustik alpha-Z1 plus" ausgeführt. Die östliche Wandfläche wird im oberen Bereich mit rd. 35 m^2 Wandpaneelen Typ "Wall Panel C / Super G" verkleidet. Damit ist im Bereich des Lehrschwimmbeckens eine mittlere Nachhallzeit von $T_m = 1,1 \text{ s}$ zu erwarten. Der Vergleich der mittleren Nachhallzeit mit den Vorgaben der KOK-Richtlinien von $T_{\text{soll,KOK}} \square 1,7 \text{ s}$ und den volumen- und nutzungsabhängigen Anforderungen der DIN 18041 von $T_{\text{soll,DIN 18041}} \square 1,5 \text{ s}$ zeigt, dass diese sicher erfüllt werden.

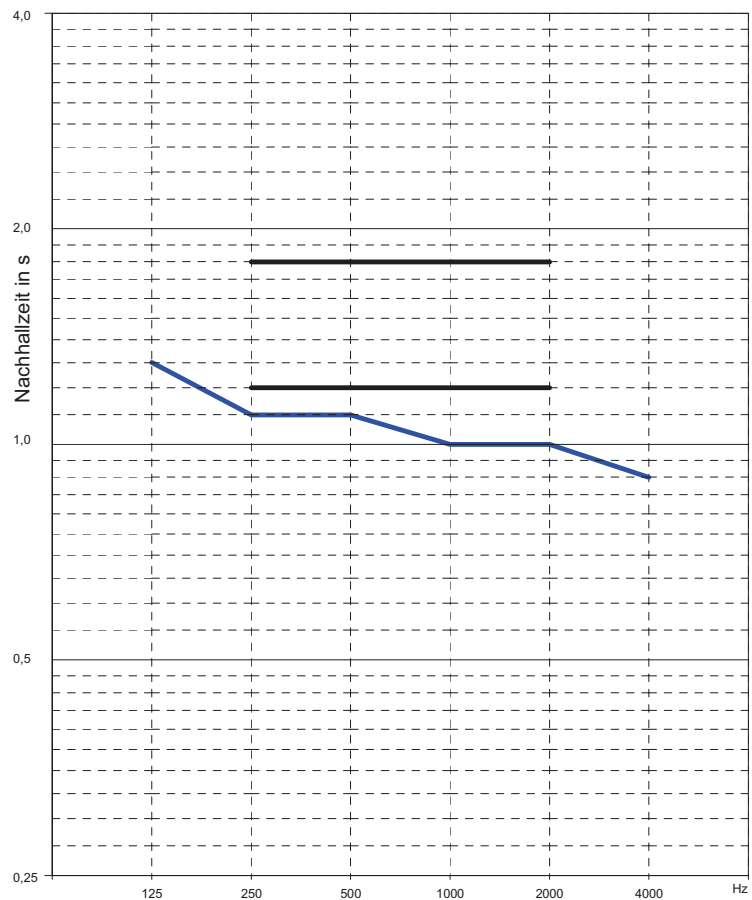
Raumakustische Maßnahmen

- 1) Dach Ligno Trend
Wand Ecophon

— $T_{m,1} = 1,1 \text{ s}$

Toleranzbereich nach
DIN 18 041 für Sporthallen
und Schwimmhallen

—



Raumzustand 1)

1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Der nach DIN 18041 anzustrebende Toleranzbereich wird von der frequenzabhängig berechneten Nachhallzeitkurve vollständig unterschritten, was hier nicht nur als erwünscht (besser als die Normvorgaben) sondern auch als akustisch vorteilhaft (hohe Raumschalldämpfung) anzusehen ist.

Becken 4 (Sportbecken mit 4 Bahnen)

Im Bereich des Sportbeckens Becken 4 ist die nach Norden orientierte Glasfassade um 5° nach außen geneigt. Die Dachfläche wird vollflächig mit den Akustikelementen "Ligno Block Q3 Akustik alpha-Z1 plus" ausgeführt. Die nördliche Wandfläche wird im oberen Bereich mit rd. 57 m^2 Wandpaneelen Typ "Wall Panel C / Super G" verkleidet. Damit ist im Bereich des Sportbeckens Becken 4 eine mittlere Nachhallzeit von $T_m = 1,1 \text{ s}$ zu erwarten. Der Vergleich der mittleren Nachhallzeit mit den Vorgaben der KOK-Richtlinien von $T_{\text{soll,KOK}} \square 1,7 \text{ s}$ und den volumen- und nutzungsabhängigen Anforderungen der DIN 18041 von $T_{\text{soll,DIN 18041}} \square 1,6 \text{ s}$ zeigt, dass diese sicher erfüllt werden.

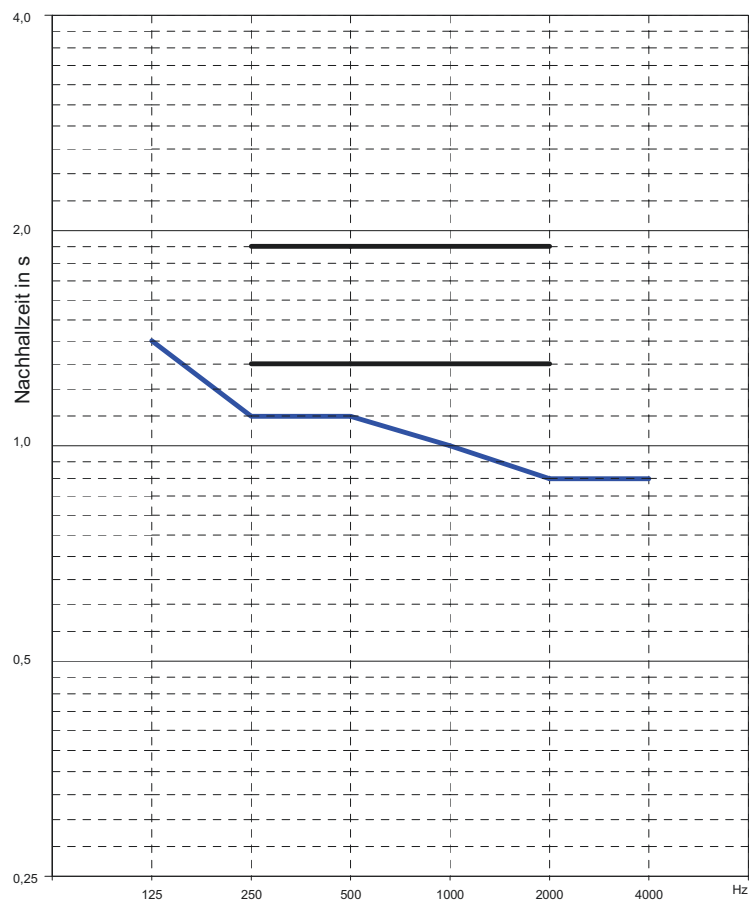
Raumakustische Maßnahmen

- 1) Dach Ligno Trend
Wand Ecophon

— $T_{m,1} = 1,1 \text{ s}$

Toleranzbereich nach
DIN 18 041 für Sporthallen
und Schwimmhallen

—



Raumzustand 1)

1,4	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Der nach DIN 18041 anzustrebende Toleranzbereich wird von der frequenzabhängig berechneten Nachhallzeitkurve vollständig unterschritten, was hier nicht nur als erwünscht (besser als die Normvorgaben) sondern auch als akustisch vorteilhaft (hohe Raumschalldämpfung) anzusehen ist.

Becken 5 (Sportbecken mit 5 Bahnen)

Im Bereich des Sportbeckens Becken 5 wird die Dachfläche vollflächig mit den Akustikelementen "Ligno Block Q3 Akustik alpha-Z1 plus" ausgeführt. Die südliche und die westliche Wandfläche werden im oberen Bereich mit rd. 325 m² Wandpaneelen Typ "Wall Panel C / Super G" verkleidet. Damit ist im Bereich des Sportbeckens Becken 5 eine mittlere Nachhallzeit von $T_m = 1,3 \text{ s}$ zu erwarten. Der Vergleich der mittleren Nachhallzeit mit den Vorgaben der KOK-Richtlinien von $T_{\text{soll,KOK}} \square 1,7 \text{ s}$ und den volumen- und nutzungsabhängigen Anforderungen der DIN 18041 von $T_{\text{soll,DIN 18041}} \square 1,9 \text{ s}$ zeigt, dass diese sicher erfüllt werden.

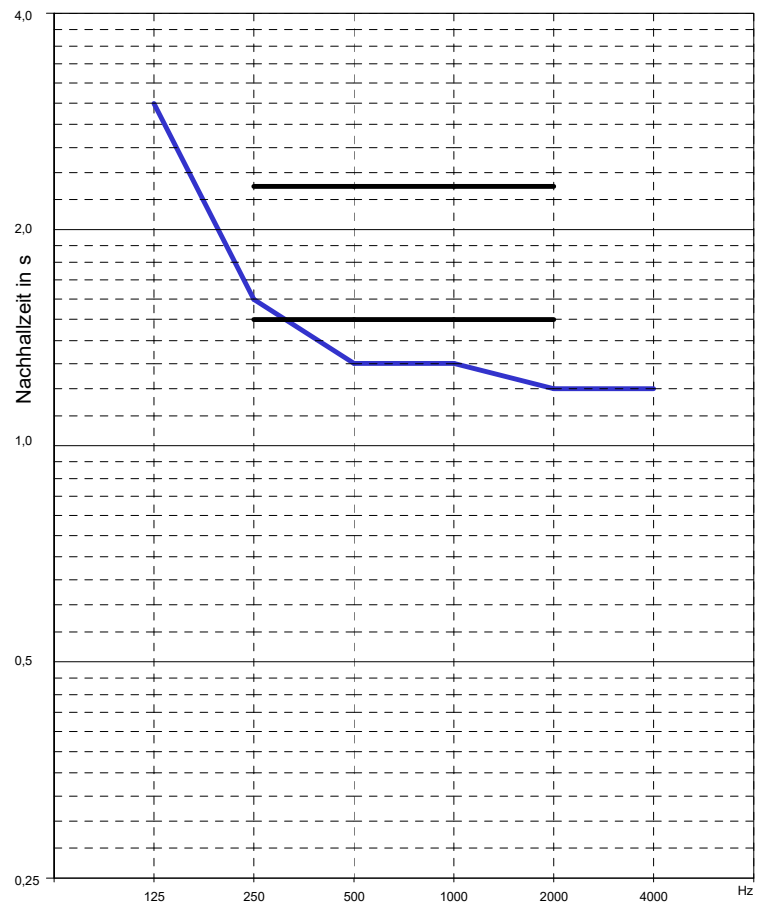
Raumakustische Maßnahmen

- 1) Dach Ligno Trend
Wand Ecophon

— $T_{m,1} = 1,3 \text{ s}$

Toleranzbereich nach
DIN 18 041 für Sporthallen
und Schwimmhallen

—



Raumzustand 1)

3,0	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Der nach DIN 18041 anzustrebende Toleranzbereich wird von der frequenzabhängig berechneten Nachhallzeitkurve nahezu vollständig unterschritten, was hier nicht nur als erwünscht (besser als die Normvorgaben) sondern auch als akustisch vorteilhaft (hohe Raumschalldämpfung) anzusehen ist.

Gemäß den durchgeführten raumakustischen Berechnungen werden in den Schwimmhallen mit den geplanten Ausführungen die Anforderungen/Empfehlungen an die Nachhallzeit erfüllt bzw. sogar unterschritten (hohe Raumschalldämpfung), wodurch bei der späteren Nutzung sowohl niedrige Geräuschpegel als auch eine gute Sprachverständlichkeit (Unterrichtsbetrieb) zu erwarten sind.

In den Nebenräumen werden durch die Verwendung akustisch hochwirksamer Verkleidungen bzw. Unterdecken ebenfalls hohe Raumschalldämpfungen erreicht. Ein akustisch "hochwertiges" Raumklima wird in den untersuchten Bereichen somit sichergestellt.

9 Brandschutz

9.1 Einleitung

Die Errichtung eines Gebäudes im Passivhausstandard erfordert aufgrund der Besonderheiten dieses Gebäudetypus eine schutzzielorientierte Betrachtung zum Brandschutz. Charakteristisch sind hierbei erhöhte Dämmstärken sowie die Verwendung von Bauteilen nach dem Passivhausstandard. Ggf. sind besondere Maßnahmen zur Lüftung erforderlich. Im Fall des Lippe Bades Lünen kommt bevorzugt auch der Baustoff Holz zum Einsatz.

Bei der Nutzung als Schwimmbad wird die Brandlast bei dieser Gebäudenutzung im Wesentlichen durch die Gebäudehülle bestimmt. Es wurden somit im Rahmen des Brandschutzkonzeptes weitergehende Maßnahmen entwickelt, um eine Brandübertragung in die Gebäudehülle wirksam zu verhindern.

9.2 Baurechtliche Einstufung

Für das Gebäude gilt grundsätzlich die Bauordnung des Landes NRW. Das Bestandsgebäude ist hierbei als Gebäude mittlerer Höhe eingestuft, während der Neubau des Schwimmbades als Gebäude geringer Höhe zu beurteilen ist. Das Gebäude stellt einen Sonderbau im Sinne der Bauordnung dar, für den besondere Erleichterungen oder zusätzliche Anforderungen zum Tragen kommen können. Die Sonderbauverordnung wurde jedoch nicht angewandt, da die Kriterien für den Geltungsbereich dieser Vorschrift nicht überschritten bzw. tangiert werden. Dies wäre allenfalls aufgrund der Anzahl der Nutzer erforderlich geworden, wenn eine Personenanzahl von 200 Personen überschritten wird und somit eine Einstufung als Versammlungsstätte vorliegt. Da dies nur vereinzelt bei Sonderveranstaltungen eintreten kann, erfolgt in diesen Fällen nach Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden eine Genehmigung im Einzelfall.

Das Brandschutzkonzept dient der ganzheitlichen Betrachtung des Gebäudes unter Berücksichtigung der baurechtlichen Schutzziele. Die Schutzziele stellen sich im Einzelnen wie folgt dar:

- Verhindern einer Brandentstehung
- Begrenzung der Ausbreitung von Feuer und Rauch
- Ermöglichung von Rettung von Personen
- Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten

Diese Schutzziele stehen in enger Korrelation zueinander und bedürfen einer Konkretisierung im Rahmen eines Brandschutzkonzeptes. Das Brandschutzkonzept ist integraler Bestandteil des Bauantrages. Die Struktur eines Brandschutzkonzeptes ist vorgegeben durch die BauPrüfVO. Im Folgenden werden die Kernpunkte des Brandschutzkonzeptes unter Berücksichtigung der Errichtung nach dem Passivhausstandard beschrieben.

9.3 Brand- und Rauchabschnitte

Das Gebäude bildet insgesamt einen Brandabschnitt. Dies stellt bei einer maximalen Ausdehnung von ca. 76,35 m und einer Brandabschnittsfläche im Erdgeschoss von ca. 3.200 m² eine Abweichung von der zulässigen Ausdehnung von 40 m gemäß der Bauordnung dar. Diese Abweichung wurde im Wesentlichen begründet mit den geringen Brandlasten bzw. der Kapselung von Brandlasten sowie der Ausführung des Dachtragwerkes sowie des oberen Raumabschlusses in der Feuerwiderstandsklasse F 30.

Das Untergeschoss (vgl. Abbildung 63), das im Wesentlichen zur Unterbringung von technischen Anlagen genutzt wird, wird durch massive Decken in der Feuerwiderstandsklasse F 90 abgetrennt. Bezüglich des Raumabschlusses wurde aufgrund der geringen Brandlasten der Anlagentechnik und der unmittelbaren Zuordnung zum Schwimmbad bezüglich des Raumabschlusses die Anforderung der rauchdichten Ausführung an diese Geschossdecke gestellt. So wurde beispielsweise auf den Einbau von Brandschutzklappen in dieser Geschossdecke verzichtet.

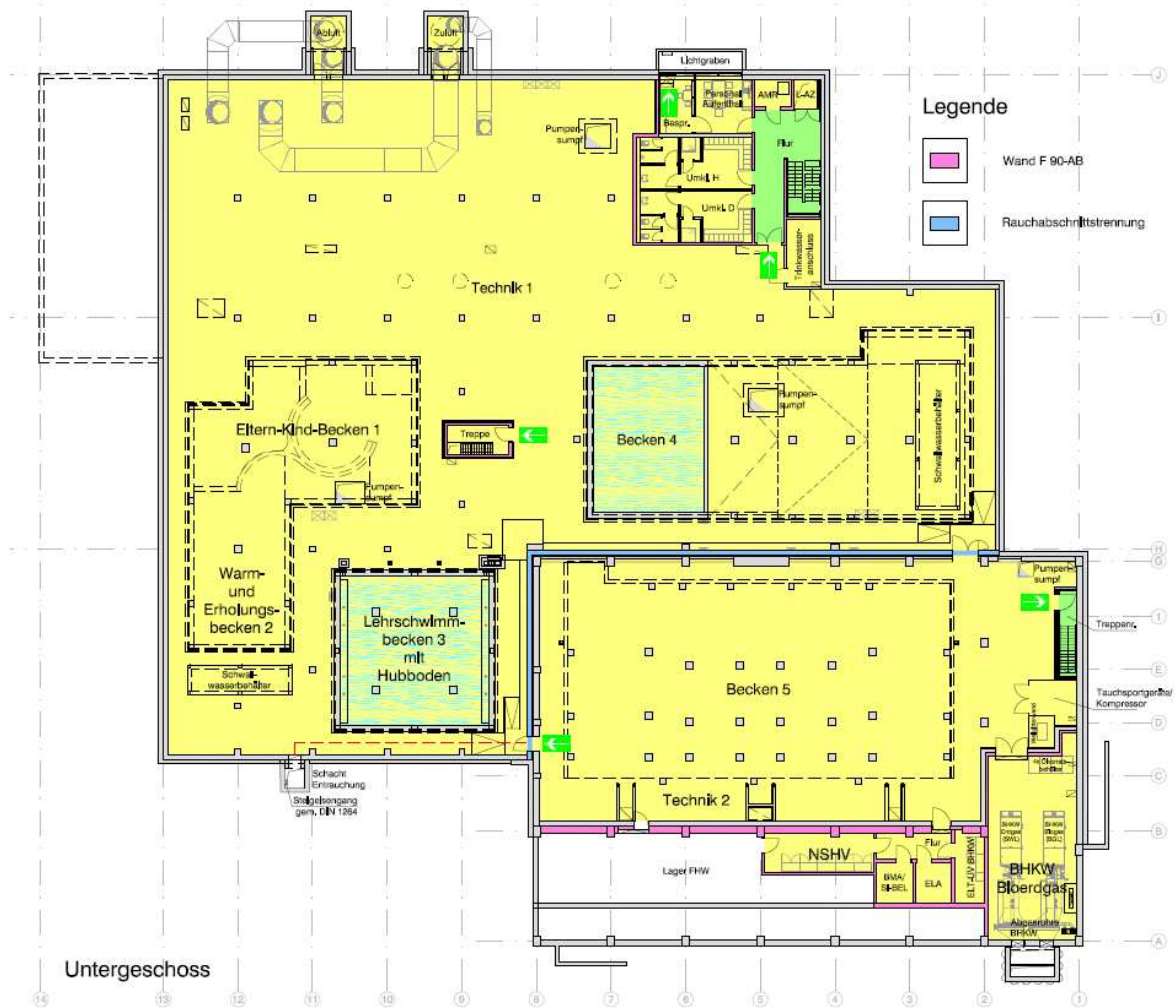


Abbildung 63: Übersichtsplan Brandschutz Untergeschoss (Quelle: skp)

Das Schalthaus des ehemaligen Heizwerkes sowie die Obergeschosse innerhalb des Bestandsgebäudes sind durch Decken und Wände in der Feuerwiderstandsklasse F 90 abgetrennt.

Das Schwimmbad ist unterteilt in zwei Raumbereiche, die jeweils einen Rauchabschnitt bilden. Des Weiteren wird eine Unterteilung zwischen dem Neubau und dem Altbau mittels einer Rauchschräge hergestellt (vgl. Abbildung 64).

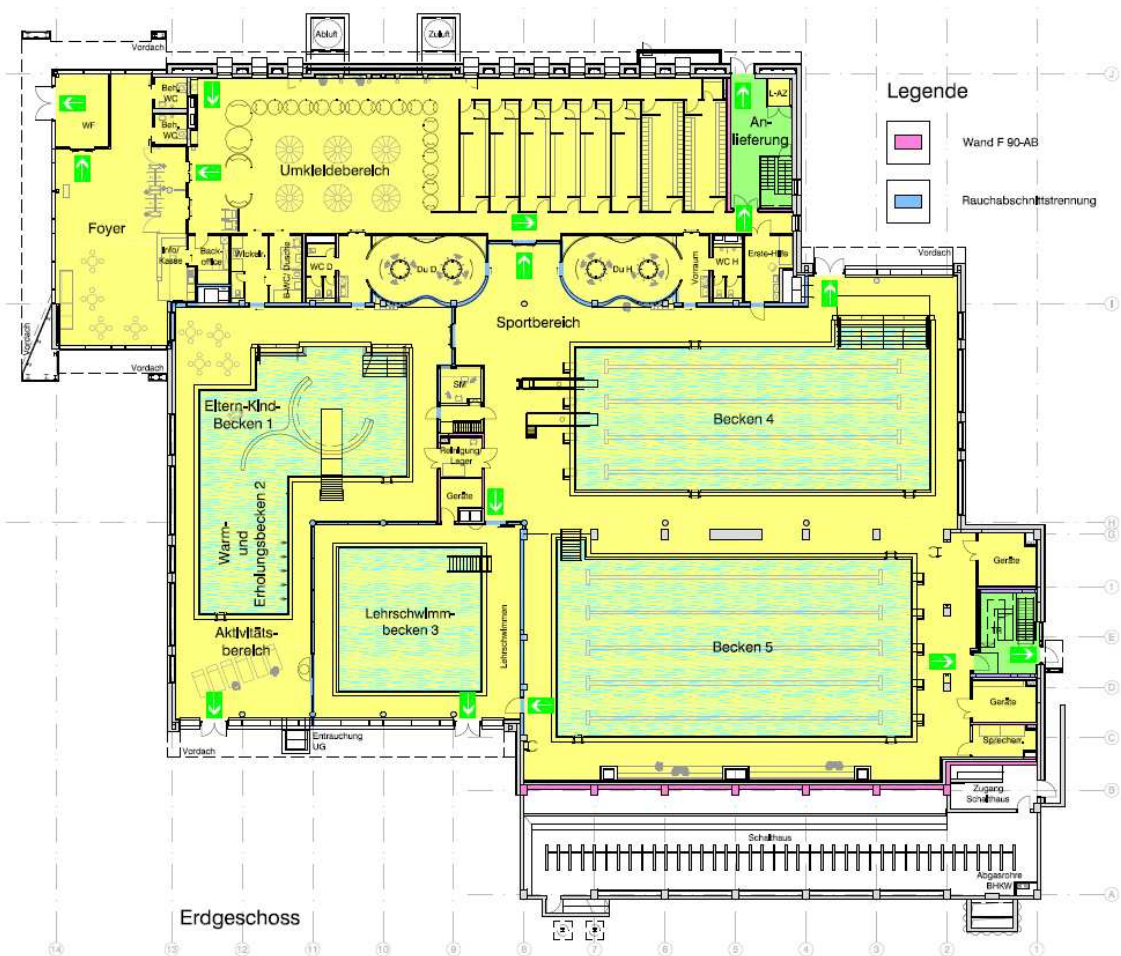


Abbildung 64: Übersichtsplan Brandschutz Erdgeschoss (Quelle: skp)

9.4 Baulicher Brandschutz

Der bauliche Brandschutz umfasst im Wesentlichen die Beschreibung von Anforderungen an die Bauteile und Baustoffe im Gebäude sowie die Beschreibung der baulichen Umsetzung. Für das Kellergeschoss und für das ehemalige Heizkraftwerk als Gebäude mittlerer Höhe wird die Anforderung der Feuerwiderstandsklasse F 90 gestellt, die durch die Stahlbetonkonstruktion erfüllt wird.

Für den Bereich des Schwimmbades wird an die tragende und aussteifende Konstruktion gemäß der Bauordnung die Anforderung F 30 gestellt. Diese Anforderung wird durch die Stahlbetonstützen in Verbindung mit den Leimholzbindern erfüllt. Aus baurechtlicher Sicht werden keine Anforderungen an den Raumabschluss durch die Bedachung gestellt.

Bei den Holzfertigteilen handelt es sich um streifenförmige Brettsper Holz-Elemente, die als Kasten-Element aufgebaut werden. Die einzelnen Elemente sind mit Nut und

Feder verbunden. Unterseitig sind diese Holzfertigteile mit Holzakustikpaneelen bekleidet. Die Brettsper Holz-Elemente weisen aufgrund ihrer Bauart die Feuerwiderstandsklasse F 30 auf. Durch die Ausführung wird dem Schutzziel der Begrenzung einer Brandausbreitung Rechnung getragen, so dass bei einem Brand im Gebäude, dieser nicht unmittelbar in die Dachdämmung übertragen wird. Ein besonderes Augenmerk ist hierbei noch auf Dachdurchdringungen zu richten, die so ausgebildet wurden, dass ebenfalls eine Brandübertragung verhindert wird. Dies wurde realisiert durch die Ausführung der Dachdurchdringungen nach DIN 18234. Aufgrund der Größe der Dachflächen des Schwimmbades wurden durch die Feuerwehr als Brandschutzdienststelle weitere Maßnahmen zur Begrenzung einer Brandausbreitung über die Dachdämmung gefordert. Eine bauliche Unterteilung ist bereits durch die unterschiedlichen Höhen der Dachflächen gegeben. Eine weitere Unterteilung innerhalb der größten Dachfläche im Bereich des Neubaus des Schwimmbades ist durch einen Streifen mit nichtbrennbarer Dämmung in zwei Hälften gegeben (vgl. Abbildung 65).

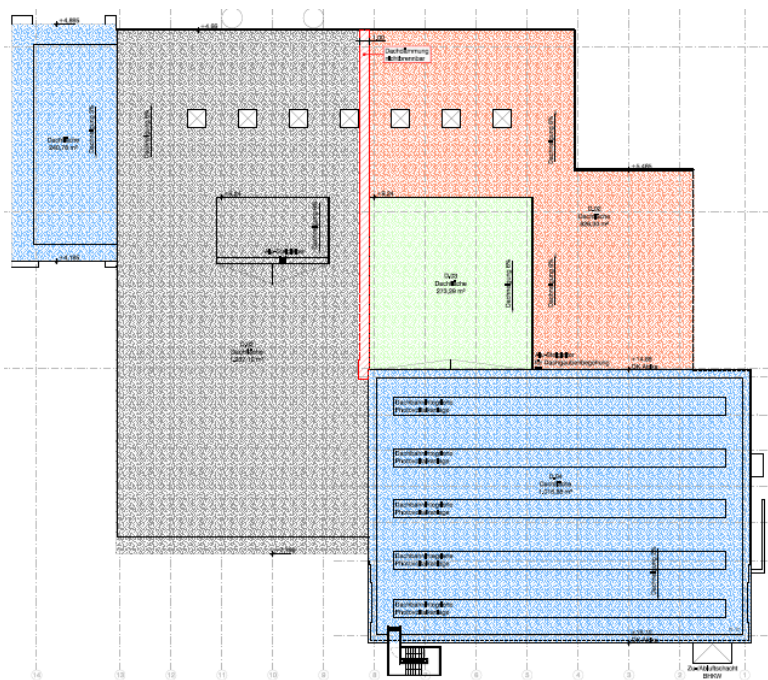


Abbildung 65: Segmentierung der Dachflächen (Quelle: skp)

Es werden durch die Bauordnung ausschließlich im Bereich des Bestandsgebäudes des Heizkraftwerkes Anforderungen an die Brennbarkeit bzw. Entflammbarkeit der Außenwände gestellt, da dieser Gebäudeteil als Gebäude mittlerer Höhe einzustufen ist. Gemäß der Bauordnung wurde an die Ausführung der nichttragenden Außenwände die Anforderung nicht brennbar gestellt. Diese Anforderung wird durch die Massivkonstruktion erfüllt. Die Dämmung bzw. die Außenwandbekleidung muss gemäß den Vorgaben der Bauordnung aus mind. schwerentflammbaren Baustoffen bestehen. Dies wird durch das Wärmedämmverbundsystem mit schwerentflammbarer Dämmung (EPS-Hartschaum) erfüllt.

Die Wände des Neubaus werden aus KSV-Mauerwerk / Stahlbeton mit einem Wärmedämmverbundsystem bzw. Verglasung errichtet. Besondere Anforderungen zum baulichen Brandschutz wurden nicht gestellt.

9.5 Rettungswege

Die Rettungswege für das Kellergeschoss bildet ein notwendiger Treppenraum innerhalb des Umkleidetraktes. Des Weiteren steht eine Treppe mittig im Gebäude zur Verfügung.

Für die erdgeschossigen Bereiche stehen direkte Ausgänge ins Freie zur Verfügung. Die Anzahl der Ausgänge wurde so optimiert, dass eine möglichst geringe Anzahl von Gebäudeöffnungen in der Außenhülle erforderlich wurde, dennoch aber die zulässige Rettungsweglänge von 35 m nicht überschritten wird.

Der erste Rettungsweg in den Obergeschossen des ehemaligen Heizkraftwerkes wird der erste Rettungswege über einen notwendigen Treppenraum sichergestellt. Der zweite Rettungsweg für das 1. und 2. Obergeschoss wird über anleiterbare Fenster gewährleistet. Aufgrund der ggf. zu erwartenden höheren Personenanzahl wurde für das 3. Obergeschoss ein baulicher Rettungsweg in Form eines Außentreppenturms zur Nachrüstung konzipiert.

Für die Kennzeichnung der Rettungswege kommen beleuchtete Hinweiskennzeichen zum Einsatz. Die Rettungswege werden auf Flucht- und Rettungsplänen dargestellt.

9.6 Anlagentechnischer Brandschutz

Das Kellergeschoss bildet einen eigenständigen Rauchabschnitt. Die Entrauchung des Kellergeschosses wird über eine maschinellen Entrauchung mittels eines Brandgasventilators gewährleistet, um eine wirksame Brandbekämpfung zu ermöglichen.

Für die Entrauchung des Schwimmbades sind baurechtlich keine konkreten Anforderungen formuliert, so dass eine schutzzielorientierte Betrachtung erforderlich wurde. Die Entrauchung wurde daher im Schwimmbad in Anlehnung an die Sonderbauverordnung konzipiert. Diese formuliert für Räume mit einer Fläche von 200 bis 1.000 m² erleichterte Anforderungen an die Entrauchung. Dies können wahlweise Rauchableitungsöffnungen mit einer freien Öffnungsfläche von mind. 1% oder 2% freie Öffnungsfläche in Form von Fenstern und Türen jeweils bezogen auf die Grundfläche sein. Die Bereiche des Schwimmbades wurden mit

Rauchableitungsöffnungen mit 1% bezogen auf die Grundfläche ausgestattet. Die vorgesehenen Fenster zur Rauchableitung gemäß dem Passivhausstandard entsprechen nicht den Anforderungen der EN 1201 Teil 1. Da es sich jedoch nicht um eine Rauchabzugseinrichtung gemäß den technischen Regelwerken hierzu handelt, bestanden gegen Abweichung von dieser Norm aus brandschutztechnischer Sicht keine Bedenken. Es werden zugelassene Antriebe verwendet, die für die Fenster ausreichend bemessen werden.

Das Gebäude ist nicht mit einer automatischen Brandmeldeanlage ausgestattet. Zur Sicherstellung des Personenschutzes ist gemäß der zu erwartenden Brandszenarien eine Alarmierungsanlage für den Hausalarm mit Handfeuermeldern im Bereich der Ausgänge installiert worden. Die Alarmierungsanlage ist aufgeschaltet auf die ständige besetzte Leitwarte der Stadtwerke Lünen.

Um einen Brandeintrag durch Blitzeinschlag zu verhindern, wurde eine Blitzschutzanlage entsprechend der technischen Regelwerke installiert.

Innerhalb des Gebäudes werden zur Wärme- und Stromerzeugung zwei Blockheizkraftwerke betrieben, die mit Erdgas bzw. Biogas betrieben werden. Diese Blockheizkraftwerke werden in brandschutztechnisch abgetrennten Bereichen untergebracht. Für die Abschaltung durch die Feuerwehr im Zuge einer Brandbekämpfung wurden Notaus-Einrichtungen installiert.

Die Lüftungsanlagen des Gebäudes sind als Be- und Entlüftungsanlagen mit Umluftanteil ausgeführt. Die Lüftungsgeräte sind im Untergeschoss aufgestellt. Im Brandfall erfolgt eine Abschaltung der Lüftungsanlagen durch Rauchmelder in den Lüftungsanlagen.

9.7 Fazit

Die Errichtung des Gebäudes im Passivhausstandard führt aus brandschutztechnischer Sicht nicht zu Problemstellungen, die einen wesentlich erhöhten Investitionsaufwand darstellen. Die getroffenen Kompensationsmaßnahmen zum Brandschutz wurden im Wesentlichen nicht durch die Errichtung im Passivhausstandard, sondern durch die Gebäudekubatur und durch die Art der Nutzung bestimmt. Die Verwendung des Baustoffes Holz steht nicht im Widerspruch zum baulichen Brandschutz, wenn dies bei der Planung bereits entsprechende Berücksichtigung findet.

10 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Das Projekt Lippe Bad ist die innovative Entwicklung zum ersten gebauten Beispiel eines Hallenbades nach Passivhauskonzept. Im gebauten Beispiel Lippe Bad wird es mit wissenschaftlich geführtem Monitoring im Betrieb gelingen, Transparenz und Erfahrungen zu den technischen Systemen herbeizuführen. Allein dieser Erkenntnisgewinn im Erstlingswerk ist förderungswürdig. Andererseits sind Handhabung und Marktgängigkeit der Passivhaustechnologie und der ergänzenden Ansätze zur Einsparung (Energie, Trinkwasser, Abwasser, Chemie, Arbeitsgänge, Erneuerungsbedarfe) neben den Erfahrungen im Betrieb insbesondere von den Investitionsmehrkosten abhängig.

Die unterschiedlichen Einzelmaßnahmen mit dem Ziel der Energie- und Wassereinsparung lassen sich im System Hallenbad nicht isoliert wirtschaftlich beurteilen. Die Ausschöpfung der Einsparpotenziale wird nicht allein durch eine Aneinanderreihung mehrerer Einzelmaßnahmen erreicht, sondern ergibt sich erst aus der Kombination derselben. Die über das speziell erweiterte Passivhaus-Projektierungspaket durchgeführten Simulationen zeigen die ineinander greifenden Abhängigkeiten im Hallenbadsystem. So eröffnet die hohe thermische Güte der Hülle erst die Möglichkeit, das auch über Verdunstungsreduzierung und Lüftungssystem bestehende Einsparpotenzial auszuschöpfen. Ebenso wirkt eine Warmwassereinsparung auf den Wasserhaushalt (Trinkwasser, Abwasser), auf den Wärmehaushalt und mittelbar über das Konzept der Wärmerückgewinnung auch auf den Stromhaushalt. Wie immer, bestehen auch im innovativen Erstlingswerk Passivhallenbad gewisse Risikopositionen. Die heute noch unsichere Erkenntnislage zur Schadstoffentwicklung in der Hallenbadatmosphäre birgt beispielsweise das Risiko, entgegen der Passivhauskonzeption die Anhebung der Luftwechsel vornehmen zu müssen, um die Betriebsbedingungen des Hallenbades sicherzustellen. Um diesem Risiko zu begegnen, wurde die Lüftung im Lippe Bad nach üblichen Rahmenbedingungen und dem Stand der Technik für Hallenbäder ausgelegt. Entsprechend ließen sich im Erstlingswerk keine mit dem Passivhauskonzept in Aussicht stehenden Einsparungen zur Anlagentechnik Lüftung realisieren (geringere Volumenströme, reduzierte Gerätegrößen, kleiner dimensioniertes Kanalnetz Lüftung). Auch werden die mit dem Lüftungskonzept Passivhallenbad verbundenen Energieeinsparungen solange ungesichert sein, bis die Ergebnisse des Monitorings zu Schadstoffen in der Hallenbadatmosphäre die Funktionalität und Eignung des Lüftungskonzepts Passivhallenbad aufklären. Damit wird das Monitoring zur Schlüsselaufgabe im Lippe Bad, weil die Erkenntnisse auch für Konzeptionen von Nachfolgeprojekten so bedeutungsvoll sind.

Die innovativen Ansätze für das Lippe Bad, die noch offenen Risikoposition und die Notwendigkeit des Monitorings wurden im Projekt Lippe Bad durch Fördergeldgeber mitgetragen (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Ministerium für Wirtschaft,

Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Mit Berücksichtigung von Fördergeld, noch unklaren Risikopositionen und den noch ausstehenden Erkenntnissen des Monitorings im Betrieb, ist die Ableitung von Aussagen zur Wirtschaftlichkeit aus dem Erstlingsprojekt Lippe Bad mit Blick auf Nachfolgeprojekte ungeeignet. Um dennoch eine Vorstellung zu entwickeln, werden nachfolgend ein Standardprojekt (EnEV 2007) und ein „funktionierendes“ Passivhallenbadprojekt kostenmäßig gegenübergestellt. Die Rahmendaten zu dieser Betrachtung sind weitestgehend aus dem konkreten integralen Planungsprozess abgeleitet.

Über die Betrachtung der Lebenszykluskosten eines Hallenbadprojektes kann weiter abgeleitet werden, dass Investitionsmehrkosten durchaus sehr wirtschaftlich investiert sind, sofern damit nachhaltige Betriebskosteneinsparungen ohne Abstriche im Anforderungsprofil und an Nutzungsqualität erreicht werden. Während die Lebenszykluskosten im Durchschnitt unterschiedlicher Gebäudearten (von Wohnbau über Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser bis hin zu Schulen und Kindergärten) zu 20 % über die Investition und zu 80 % über die Betriebskosten bestimmt werden, liegen die Anteile für Standard-Hallenbäder bei rund 10 % Investition und 90 % Betriebskosten.

Die in Planungen des Lippe Bades theoretisch abgeleiteten Endenergieeinsparungen betragen für Strom 426 MWh/a (rund 70 T€/a netto) und für Wärme 1.811 MWh/a (rund 100 T€/a netto). Auf der Trinkwasserseite werden Einsparungen von rund 15.000 m³/a (ca. 19,5 T€/a netto) erwartet. Begründet durch die Lagegunst des Hallenbades wurde eine Direkteinleitung in die Lippe vorgesehen, um quasi unbelastetes Wasser (Niederschlagswasser, Grauwasserüberschuss) ohne übliche Abwassergebühren ableiten zu können, womit vermiedene Abwasser-/Entwässerungskosten von rund 41 T€/a netto einhergehen. So beträgt der insgesamt in Aussicht stehende Einsparbetrag bei Strom, Wärme, Trinkwasser, Abwasser und Niederschlagswasser auf heutiger Preisbasis ca. 230 T€/a netto.

Unter der Voraussetzung, dass die Ergebnisse des Monitorings die Funktionalität des Passivhallenbades bestätigen werden, ergeben sich in Summe modellhaft mit Blick auf Nachfolgeprojekte rund 2,1 Mio. € netto Mehrkosten zur Realisierung eines Passivhallenbades. Zur weiteren Berechnung wurden jeder Mehrkostenmaßnahme eine Nutzungsdauer und ein Instandhaltungsaufwand zugeordnet, um mit Zins (3,5 %) und Nutzungsdauer (zwischen 10 und 30 Jahre) den gesamten Annuitäts- und Wartung-/Instandhaltungsbetrag zu berechnen. Mit diesen Zahlen wurden dann folgende Jahreskostenrechnungen ausgeführt.

Tabelle 7: Zahlenwerte der Jahreskostenrechnung

Mehrkosten	2.100.000	€
Summe Annuitätsbetrag	159.200	€
mittlere Nutzungsdauer der Systemtechnik	18	Jahre
Zins	3,5	%
Tilgung	4,1	%
Teuerung von Wasser-, Abwasser- und Energiekosten	3,5	%
Teuerung von Wartungs-/Instandhaltungskosten	2,0	%
Energie-/Wasserkosteneinsparung im 1. Jahr	230.000	€
Wartungs-/Instandhaltungskosten im 1. Jahr	26.900	€

Alle Beträge in €

	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	....	9. Jahr
Schulden	-2.100.000	-1.884.700	-1.661.888	....	-151.394
Zinsen	-73.500	-73.500	-73.500	....	-73.500
Tilgung	85.700	85.700	85.700	....	85.700
Einsparung	230.000	238.050	246.382	....	302.866
Wartung	-26.900	-27.438	-27.987	....	-31.518
Restschuld	-1.884.700	-1.661.888	-1.431.293	....	132.155

Anhand dieser Rechnung zeigt sich die Amortisation der Mehrinvestition mit dem Jahr, in dem erstmals kein Restschuldbetrag mehr ausgewiesen ist. Dies ist im 9. Jahr der Fall.

Tabelle 8 stellt vergleichsweise die Ergebnisse der Berechnungen zu den Lebenszykluskosten über 40 Betriebsjahre dar. Es zeigt sich, dass trotz höherer Investition (Mehrkosten 2,1 Mio. €) für die Passivbauweise und die ergänzenden Techniksysteme insgesamt 11,5 Mio. € an Lebenszykluskosten eingespart werden. Betrachtet man die berechnete Entwicklung der Lebenszykluskosten über die Jahre so zeigt sich, dass im 10. Betriebsjahr die Lebenszykluskosten bei Passivbauweise kleiner werden als die des Standardprojektes (konkret 23,5 Mio. € zu 23,7 Mio. €).

Tabelle 8: Lebenszykluskosten der unterschiedlichen Projektstandards im Vergleich

	Standardprojekt (Basis EnEV 2007)		Hallenbad mit Passivhaustechnologie	
Investition	9,5 Mio. €	10,0 %	11,6 Mio. €	13,9 %
überschlägige Rückbaukosten	600 T€		650 T€	
anfängliche Betriebskosten	1.263 T€/a		1.060 T€/a	
mittlere Betriebskostensteigerung	2,5 %			
Summe Betriebskosten auf 40 Jahre berechnet	85,2 Mio. €	89,5 %	71,5 Mio. €	85,4 %
Lebenszykluskosten auf 40 Jahre berechnet	95,2 Mio. €	100 %	83,7 Mio. €	100 %

Mit weiteren Optimierungen und mit Ergebnissen des Monitorings, die Handlungsoptionen zur Reduzierung der Technisierung als Kostentreiber absichern, steht die weiter verbesserte Wirtschaftlichkeit für Hallenbäder im Passivhauskonzept in Aussicht. Zur Absicherung neuen Wissens und praktischer Handhabbarkeit muss das Thema Passivhallenbad weiter intensiv bearbeitet werden. Im Markt sind Innovationen stark nachgefragt, denn bestehende Regelwerke und übliche Konzeptionen sind als nicht ausreichend einzuschätzen, um die heute bereits möglichen Einsparpotenziale zu erschließen.

11 Quellen

- AkkP 24 Feist, Kaufmann, Schulze Darup, Dahlem, Greifhagen, Pfluger: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase III, Band 24 „Einsatz von Passivhaustechnologie bei der Altbausanierung“; PHI Darmstadt, 2003
- AkkP 32 Feist, Kaufmann, Loga, Pfluger, Ratzlaff, Schnieders, Simons: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase III, Band 32 „Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten“; PHI Darmstadt, 2005
- AkkP 35 Feist, Schulz, Hasper, Schnieders, Füssler, Heuß, Such: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase IV, Band 35 „Wärmebrücken und Tragwerksplanung – die Grenzen des wärmebrückenfreien Konstruierens“; PHI Darmstadt, 2007
- AkkP 39 Feist, Bastian, Kaufmann, Kah, Rongen, Schulz: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase IV, Band 39 „Schrittweise Modernisierung mit Passivhaus Komponenten“; PHI Darmstadt, 2009
- Christoffer 2004 Christoffer, J.; Deutschländer, T.; Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main, 2004
- Gundermann 1997 Gundermann, Prof. Dr. K.O.; Jentsch, Dr. F.; Matthiessen, Dr. A.: „Trihalogenmethane in Hallenbädern mit Meerwasser- und Sole-Becken. Belastung von Wasser, Luft und Personen, Faktoren der Bildung, Möglichkeiten der Verminderung“, Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Universität Kiel, Kiel 1997
- Feist 1994 Feist, Wolfgang, Dr.: „Thermische Gebäudesimulation“ C.F. Müller Verlag, 1994
- Feist 2001 Feist, Wolfgang, Univ. Prof. Dr.: „Grundlagen Passivhäuser“ Verlag Das Beispiel, 2001
- Feist 2010 Feist, Wolfgang, Univ. Prof. Dr. (Hrsg.): Internationale Passivhaustagung 2010, Protokollband. PHI, Darmstadt 2010
- Krick 2010 Krick, Benjamin, Dr.-Ing.: „Neue Zertifizierungskriterien für Passivhaus geeignete transparente Bauteile“ in Feist 2010, S. 151-158.

- PHI 2009 Schulz, Pfluger, Grove-Smith, Kah, Krick: „Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im öffentlichen Hallenbad,, Passivhaus Institut Darmstadt, 23.09.2009
- VDI 2089 VDI 2089 Blatt 1 (Entwurf), Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern Hallenbäder, Beuth Verlag GmbH, Berlin, September 2008
- Wibera 2010: Wibera Wirtschaftsberatung Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft: „Gutachten zur Bestimmung des Primärenergiefaktors der Fernwärmeversorgung der Stadtwerke Lünen GmbH für das Jahr 2010“, Düsseldorf, 11.01.2010