



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

DISSERTATION

Sanierung im Schulbau

Untersuchung von energieoptimierten Sanierungskonzepten in Verbindung mit neuen Raumanforderungen in bestehenden Schulbauten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Kreč

E253.5 / Abteilung Hochbau 2 – Konstruktion und Entwerfen

Institut für Architektur und Entwerfen

2. Gutachter

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Martin Treberspurg

Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien

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

Doris Österreicher

9126268

Bäckenbrunnlgasse 5/7, 1180 Wien

Wien, am 22.05.2015

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Doris', written over a horizontal line.

Diese Arbeit ist meinem Vater gewidmet

Mein Dank gilt besonders meinem Betreuer Klaus Kreč, der mich mit seiner unerschöpflichen Expertise und Erfahrung durch die Erstellung der Dissertation geführt hat, immer darauf achtend, dass ich den roten Faden nicht verliere.

Martin Treberspurg hat mir als zweiter Gutachter wertvolle Unterstützung für meine Arbeit gegeben, aber vor allem hat er mich mit seinen Vorlesungen zur Solararchitektur bereits in meinem Architekturstudium inspiriert, danke dafür.

Karin Stieldorf gilt mein besonderer Dank. Sie hat mich als Mentorin begleitet und hat wesentlich dazu beigetragen, dass die faszinierende Thematik der Energie in der Architektur zu einem Schwerpunkt in meinem Leben geworden ist.

Mein Dank gilt auch den Menschen in meinem Umfeld, die mir auf unterschiedliche Weise diese Arbeit ermöglicht haben: durch gemeinsame Entwicklungen im Forschungsprojekt, durch viel Geduld, während der Erstellung der Arbeit, durch Korrekturlesen und Motivation, besonders in der letzten Phase der Fertigstellung. Danke.

Kurzfassung

In öffentliche Schulgebäude werden in Österreich jährlich mehrere Millionen Euro an Instandhaltungsmaßnahmen investiert, um den teilweise stark veralteten Gebäudebestand auf den neuesten Stand der Technik in Bezug auf Brandschutz, Barrierefreiheit, Energieverbrauch und Anforderungen an geänderte Raumbedürfnisse zu bringen. Alleine die Stadt Wien hat im Rahmen des ‚Substanzsanierungsprojekts Schulen Wien‘ einen Plan für die Sanierung der Wiener Schulen bis 2017, der insgesamt 570 Millionen Euro für Substanz erhaltende Maßnahmen in 242 Pflichtschulen in Wien vorsieht, erstellt.¹

Durch diese geplanten Sanierungen entstehen substantielle synergetische Potentiale: Umfassende Sanierungsmaßnahmen könnten sowohl treibhausrelevante Emissionen durch eine Erhöhung der Energieeffizienz reduzieren, als auch eine zusätzliche urbane Energiebereitstellung bis hin zu öffentlichen ‚Plus Energie Gebäuden‘ generieren. Darüber hinaus erfordert Substanzerhaltung im weitesten Sinne auch eine holistische Betrachtungsweise: Neue Schulformen bedingen adäquate Lernumgebungen um Schüler in ihrer Entwicklung fordern und fördern zu können. Dies bedeutet auch eine zeitgemäße Architektur, die sich sowohl nach außen, durch ein positives Einfügen in die Stadtstruktur, als auch nach innen, durch ein inspirierendes Lernumfeld für unsere Kinder richtet.

Zurzeit werden diese Potentiale jedoch nicht ausgeschöpft, Sanierungen fokussieren im Regelfall auf Einzelmaßnahmen in der Substanzerhaltung, energetische Aspekte werden nur punktuell berücksichtigt, räumliche Veränderungen zumeist hauptsächlich bei Zubauten verwirklicht. Gründe für die Minderzahl an umfassenden Schulsanierungen sind in den Budgets, den politischen und institutionellen Strukturen als auch im Fehlen an innovativen Konzepten zu suchen.

Diese Arbeit hat das Ziel einen Beitrag zum besseren Verständnis von energetisch und architektonisch umfassenden Sanierungen in Schulgebäuden zu leisten. Durch die Darstellung der strukturellen, funktionalen und energierelevanten Rahmenbedingungen am Beispiel Wien werden die synergetischen Potentiale von umfassenden Schulsanierungen hervorgehoben. Eine Analyse der Anforderungen der neuen Schulformen zeigt notwendige Veränderungen auf. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methodik liefert Ansätze zur Erstellung von energie- und funktional-optimierten Sanierungskonzepten. Den Schwerpunkt bildet dabei die energetische Optimierung in Synergie mit der Optimierung der Raumkonzepte, um den geänderten Anforderungen an neue Schulformen gerecht zu werden. Anhand eines konkreten Beispiels einer typischen Gründerzeitschule in Wien, basierend auf dem Forschungsprojekt SchulRen+, werden dabei umfassende Sanierungskonzepte für Schulbauten analysiert und bewertet.

Die Sanierung im Schulbau braucht synergetische Konzepte, dazu liefert diese Arbeit fundierte Entscheidungsgrundlagen. Um das Potential der Schulsanierung auszuschöpfen sind darüber hinaus jedoch strukturelle Veränderungen in der Verwaltung unabdingbar.

¹ www.wien.gv.at/bildung/schulen/ Zugriff 15.05.2015

Abstract

Every year the Austrian government invests several million Euros in the maintenance and upkeep of public schools in order to adapt the partly outdated building stock to the current state of the art in terms of fire regulations, accessibility, energy usage and changes in the functional room requirements. The city of Vienna alone developed in the framework of the 'Substanzsanierungsprojekts Schulen Wien' a plan for the refurbishment of all Viennese Schools until 2017 where altogether 570 million Euros are foreseen for basic maintenance and adaptation measures in 242 compulsory schools in Vienna.²

Based on these refurbishment actions there is a significant potential for creating synergies: holistic refurbishment actions could reduce greenhouse gas emissions by increasing the energy efficiency as well as adding energy generation potential by the development of 'Plus Energy Buildings'. The refurbishment also requires a holistic view on our school building stock: new types of schools necessitate an adequate learning environment to challenge and encourage pupils in their development. That means a contemporary architecture which positively reflects both externally, by integrating into the urban structure, as well as internally, by creating an inspiring learning environment for our children.

Currently however these potentials are not fully exploited. Refurbishment focuses mostly on single measures in respect of maintenance and adaptation of the building structure. Energy efficiency measures are considered only selectively, functional changes in terms of adapted room functionalities are mostly implemented in annexes but rarely in existing buildings. The reasons for the few numbers of truly holistic school refurbishment projects can be found in the limited budgets, the political and institutional framework conditions as well as the lack of innovative and holistic building refurbishment concepts.

This work aims at adding to the understanding of the potential of energy-optimized and architecturally comprehensive refurbishments in school buildings. By summarizing the structural, functional and energy relevant framework conditions based on the example of Vienna the synergetic potentials of comprehensive school refurbishments are highlighted. An analysis of the requirements the new school types have on architecture and functional aspects demonstrates the required changes in school refurbishment projects. The method developed in this work delivers an approach for the development of energy- and functionally optimized refurbishment concepts. The emphasis lies on the energetic optimization in synergy with the optimization of the functional room concepts in order to give justice to the changed requirements in new school types. Based on the project SchulRen+, refurbishment concepts for a typical Viennese 'Gründerzeit' building will be analyzed and assessed.

This work provides a sound basis for decision support related to synergetic concepts required in school refurbishment. However structural changes in the administration are imperative in order to leverage the full potential school refurbishment can offer.

² www.wien.gv.at/bildung/schulen/ Zugriff 15.05.2015

Vorwort

Diese Dissertation baut in Teilen auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts ‚SchulRen+ / Innovative Konzepte für Schulsanierungen auf Plus Energie Niveau‘ (Projekt Nummer 827183) auf. Exemplarisch wurde aus diesem Projekt das Beispiel (Kapitel 4) analysiert und bewertet. Das Projekt ist Teil der Ausschreibung ‚Haus der Zukunft Plus‘³ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit ein generisches Maskulinum verwendet. Dies bedeutet, dass in den Texten durch die verallgemeinernde Anwendung jeweils männliche und weibliche Personen gleichermaßen gemeint sind.

³ www.hausderzukunft.at

I n h a l t

1.	Einleitung	1
1.1.	Problemstellung	1
1.2.	Ziele	6
1.3.	Methodik	7
1.4.	Aufbau	9
2.	Rahmenbedingungen	11
2.1.	Entwicklung von Schulgebäuden	11
	Geschichtlicher Abriss	11
	Schultypen (aus pädagogischer Sicht)	22
2.2.	Politische und institutionelle Rahmenbedingungen	28
	Barrieren	29
	Zuständigkeiten	32
	Regulative	38
	Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme	45
	Schulsanierungspaket der Stadt Wien	56
2.3.	Spezifische Anforderungen	60
	Komfortansprüche aus physiologischer Sicht - Entwicklung	60
	Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität	62
	Licht	66
	Akustik	70
	Räumliche und organisatorische Anforderungen	71
	Leitbilder	80
2.4.	Typologien	85
	Typologie nach Baualter und Kontext	86
	Typologie nach Baustruktur	88
	Typologie nach Energierelevanten Parametern: Niedrig-, Passiv- und Plusenergie Gebäude	91
2.5.	Energetische Sanierung – Einflussparameter	95
	Klima, Lage und Externe Infrastruktur	96
	Architektonische Parameter	101
	Nutzungszonen und Innenraumklima	102

Gebäudebewertungssysteme	103
2.6. Haustechnik-Komponenten und erneuerbare Energietechnologien	108
Anforderungen an die Gebäudekonditionierung	108
Lüftungssysteme	109
Erneuerbare Energietechnologien	114
Regelungstechnik und Monitoring	117
2.7. Gestaltungsperspektiven im Schulbau	119
3. Methodik	122
3.1. Gebäudeanalyse	122
Baualter und Kontext	123
Baustruktur	125
Energierrelevante Parameter	129
3.2. Zielbild	131
3.3. Erstellung von Energiekonzepten	136
Methodik Schritt 1 Passiv	138
Methodik Schritt 2 Gebäudetechnik	141
Methodik Schritt 3 Erneuerbare Energien	143
Begleitmaßnahmen	146
3.4. Modularer Aufbau ganzheitlicher Sanierungskonzepte im Schulbau	147
Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Schritt 1, Passiv	149
Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Schritt 2, Gebäudetechnik	160
Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Schritt 3, Erneuerbare Energien	165
Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Schritt 4	169
3.5. Bewertung der Sanierungskonzepte	175
Energetische Bewertung	175
Bewertung der Lebenszykluskosten	176
4. Beispiel	178
4.1. Gebäudeanalyse Beispiel	178
Baualter und Kontext	178
Baustruktur	180
Energierrelevante Parameter	184
4.2. Zielbild Beispiel	188
4.3. Sanierungskonzepte Beispiel	189

Auswahl Maßnahmengruppe 1 Passiv	190
Auswahl Maßnahmengruppe 2 Gebäudetechnik	191
Auswahl Maßnahmengruppe 3 Erneuerbare Energien	192
Auswahl Maßnahmengruppe 4 Begleitmaßnahmen	193
4.4. Bewertung der Sanierungskonzepte Beispiel	194
Energetische Bewertung	194
Plus-Energie Szenario	204
Kritische Bereiche	207
Bewertung der Lebenszykluskosten	213
5. Zusammenfassung	218
6. Schlussfolgerungen	221
7. Literaturverzeichnis	223
8. Annex	231
8.1. Verzeichnis Tabellen	231
8.2. Verzeichnis Abbildungen	234
8.3. Abkürzungen	240
8.4. Methodik Energiekonzepte Überblick	243
8.5. Projektbeispiele	252
8.6. Lebenszykluskosten Berechnungstabellen	271
8.7. Abbildungen Originalgröße (Auszug)	274

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

„Der Irrglauben, es sei mit der Fassadendämmung getan, herrscht noch immer vor. Dabei geht es um mehr als Energieeffizienz und die bloße Einhaltung strikter Richtlinien. Energie-Einsparung darf kein Selbstzweck sein, deren Optimierung allein bestimmend ist für die zu treffenden Entscheidungen. Gebäude müssen immer auch zeitgemäßen Bedürfnissen nach Behaglichkeit, Individualität und Ausdruck gerecht werden. Durch die Sanierung kann sich auch eine gestalterische Qualität einstellen, die Aufwand und Kosten lohnenswert macht, für den Nutzer und den Betrachter verständliche Bilder erzeugt und in angemessener Weise nach außen transportiert.“ aus (BMVBS 2010)

Wenn wir im Kontext von Gebäuden von Sanierung sprechen, so meinen wir damit zumeist die strukturelle und thermische Sanierung, weniger jedoch auch die Anpassung der inneren und äußeren Gebäudestruktur an neue räumliche, ästhetische, funktionale und energierelevante Anforderungen, die sowohl zeitgemäß als auch in allen Aspekten nachhaltig umgesetzt werden sollten. Den Gebäudebestand zu sanieren bedeutet bereits investierte Ressourcen sinnvoll zu nutzen. Die Erhaltung der Bausubstanz geht dabei auch mit einer Wertschätzung der architekturhistorisch erhaltenswürdigen Gebäude einher, wobei mit ‚erhaltenswert‘ nicht immer nur der denkmalgeschützte Bereich der klassischen Prunkbauten gemeint ist, sondern auch die Vielzahl an Zweckbauten, die eine Geschichte der Architektur erzählen.

Energieeffizienz bildet eine der wesentlichen Grundlagen des nachhaltigen Bauens. Bei Sanierungsvorhaben geht es aber vor allem darum, wie wir mit unserer Stadtstruktur und der uns umgebenden gebauten Umwelt umgehen. Die Substanzerhaltung geht dabei weit über die reine strukturelle und energetische Sanierung hinaus. Substanzerhaltung bedeutet auch Nachhaltigkeit in den Raumstrukturen und eine Adaption der nach innen und außen gerichteten Funktionalität umgesetzt durch zeitgemäße Architektur. Das Einfügen des Gebäudes in die Stadtstruktur ist dabei ebenso relevant wie die Gestaltung der Raumabläufe und die innere Wahrnehmung der Gebäude.

Eine Vielzahl der Gebäude, die wir in den nächsten hundert Jahren nutzen werden, existiert bereits. Viele davon sollten zumindest auf den Stand der Technik hinsichtlich Energieeffizienz saniert werden, um die durch den Betrieb verursachten treibhausrelevanten Emissionen zu verringern. Sanierungsraten werden demnach auch oft in klimapolitischen Strategien als wirksame Maßnahme genannt. Die Umsetzung erfolgt allerdings nur schleppend.

In ihrem Anpassungspaket 2007 nannte die Bundesregierung das Ziel, die thermische Sanierungsrate von derzeit 1% auf 3% und mittelfristig auf 5% zu erhöhen. Das Einsparziel würde damit 5 Mio. Tonnen CO₂ jährlich betragen und ca. 1/5 des jetzigen Defizits zum Kyoto Protokoll ausmachen (Zielwert 68,7 Mio t CO₂/J; Defizit 2008 ca. 24,5

Mio t CO₂/J) „...Steigerung der thermischen Sanierungsrate auf 3% p.a. (2008-2012), mittelfristig auf 5% p.a., insbesondere durch Komplettsanierung des besonders problematischen Gebäudebestands der 50er bis 70er Jahre (Eigenheime und Geschoßwohnbau); vorhandene Zweck-Zuschussmittel der Länder sind zu diesem Zweck bestmöglich einzusetzen...“ (BMLFUW 2007)

In einem auf dem Anpassungspaket von 2007 aufbauenden Dokument, der 2010 vom Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ) und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) herausgegebenen *Energie Strategie Österreich*, wird eine Sanierungsrate von 3% bis zum Jahr 2020 vorgeschlagen, wobei auch in diesem Entwurf von einer aktuellen Sanierungsrate von 1% ausgegangen wird (BMWFJ und BMLFUW 2010). Die Sanierungsrate hat sich in dieser Zeitspanne nicht erhöht. Es ist daher anzunehmen, dass das angestrebte Ziel auch 2020 nicht erreicht werden wird, wenn nicht substantielle Maßnahmen gesetzt werden.

Erwähnt wird vor allem die Bedeutung der öffentlichen Hand, die durch ihre Vorbildfunktion hier vor allem Bewusstseinsbildung schaffen kann:

„...Eine maßgebliche Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen aus der Beheizung und Warmwasserbereitung in Gebäuden bedingt insbesondere die schrittweise Modernisierung des Gebäudebestands unter besonderer Beachtung der Verbesserung der thermisch-energetischen Qualität. Dabei kommt insbesondere der öffentlichen Hand besondere Bedeutung zu, da sie durch verstärkte Maßnahmen in diesem Bereich eine wichtige Vorreiterrolle übernehmen muss. Optimale thermisch-energetische Sanierung bewirkt eine Reduktion des Energieverbrauchs im Einzelobjekt um ca. 40-70%. Die bisherige thermisch-energetische Sanierungsrate von jährlich unter 1% ist keinesfalls ausreichend, um dem Ziel der Klimastrategie im Bereich Raumwärme wesentlich näher zu kommen. [...] Die öffentliche Hand verpflichtet sich, beim eigenen Gebäudebestand die Sanierungsquote deutlich zu erhöhen und Maßnahmen im Sinne der Energieeffizienz-Richtlinie zu setzen...“ (BMLFUW 2007).

Die öffentliche Hand verpflichtet sich auch im Regierungsübereinkommen 2010, in ihren eigenen Gebäuden energierelevante Maßnahmen umzusetzen. Im Kapitel *Wohnen, Wohnbau und Stadterneuerung* wird unter anderem in Punkt 4 zur Sanierung in den Unterpunkten 6 und 7 folgendes vereinbart⁴: *„Prüfung der Abwicklung von Sanierungen zentral verwalteter Amtshäuser über Contracting-Modelle; Prüfung des verstärkten Einsatzes von Sonnenenergie und Wasser sparenden Maßnahmen im Zuge der Sanierung stadteigener Gebäude“*.

Betrachtet man den Anteil der Bildungsbauten in der Europäischen Union, der mit 17% nach Gewerbe und Büros den drittgrößten Anteil der Zweckbauten ausmacht (Abbildung 1), so hat die öffentliche Hand in diesem Bereich einen substantiellen Hebel, um vorbildwirkend energetisch effiziente Gebäude zu betreiben.

⁴ www.wien.gv.at/politik/strategien-konzepte/regierungsuebereinkommen-2010/wohnen-wohnbau-stadterneuerung/; Zugriff 15.05.2015

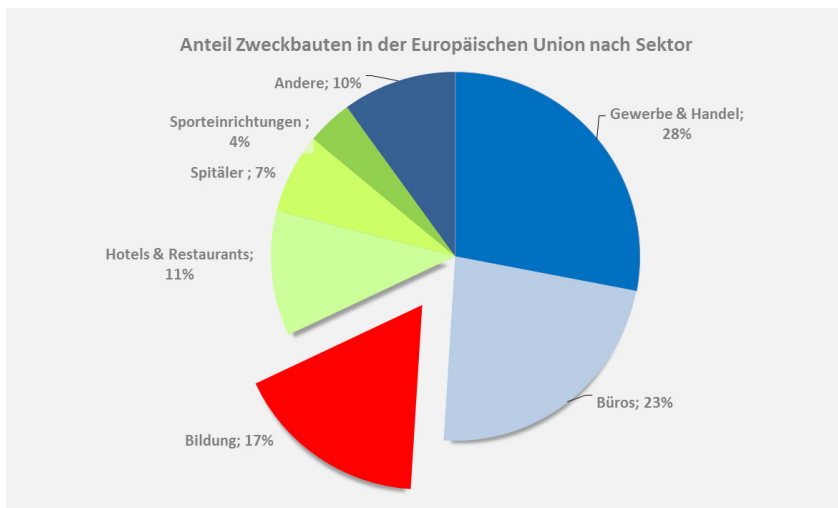


Abbildung 1: Anteil an Zweckbauten in der Europäischen Union nach Sektor aus (Economidou 2011)

Die Sanierung in Österreich konzentriert sich hauptsächlich auf den Wohnbaubereich und wird vor allem durch Wohnbauförderungen finanziert. Dieser ist zudem in der Sanierung sowohl aus bautechnischer als auch kostenmäßiger Perspektive weitgehend dokumentiert. Zudem gibt es eine Vielzahl an Fallbeispielen und begleitende Literatur.

Im Bereich der Nicht-Wohngebäude wird dagegen das Sanierungspotential bei weitem noch nicht ausgeschöpft, obwohl gerade diese Gebäudetypen einen teilweise sehr hohen Energieverbrauch aufweisen. Klimaforscher prognostizieren zudem einen Trend in Richtung Temperaturerhöhung, wodurch der Energieverbrauch durch den erhöhten Kühlungs- und Lüftungsbedarf steigen würde. Konkrete Fallbeispiele und Vergleiche über Sanierungen bei Nutzbauten sind kaum in umfassenden Studien erfasst. Annahmen zufolge, wonach es keine ‚Standardlösungen‘ für komplexere Gebäudetypen gibt, mangelt es an umsetzbaren Kosten- und Sanierungskonzepten.

In der Energie Strategie ist daher auch die „...*Entwicklung von Konzepten zur Gebäudemodernisierung, Sanierung und Sanierungsprozesse...*“ (BMWfJ und BMLFUW 2010) angeführt. Auch die Architektenkammer fordert „*baukulturelle Leitbilder*“ um die Sanierungsrate in Österreich zu erhöhen⁵, replizierbare Konzepte bilden demnach einen wesentlichen Beitrag zur flächendeckenden Umsetzung von nachhaltigen Sanierungen.

Substanzerhaltungsmaßnahmen werden im Gegensatz zu energierelevanten Maßnahmen vor allem in öffentlichen Gebäuden flächendeckend umgesetzt. So investieren Bund und Länder jährlich mehrere Millionen Euro in Instandhaltungsmaßnahmen an Schulen. Alleine die Stadt Wien hat im Rahmen des „Substanzsanierungsprojekts Schulen Wien“ (SUSA) einen Plan für die Sanierung der Wiener Schulen bis 2017, der insgesamt 570 Millionen Euro für Substanz erhaltende Maßnahmen in 242 Pflichtschulen in Wien vorsieht, erstellt. 2014 wurden Arbeiten an 142 Standorten weitergeführt und über 60 Millionen Euro investiert. Mit Ende 2014 wurden 76 Schulgebäude fertig saniert.⁶

⁵ Artikel ‚Sanierungsrate muss steigen‘ Martin Putschögl / Der Standard / 10.11.2013

⁶ www.wien.gv.at/bildung/schulen/ / Zugriff 15.05.2015

Ziel ist es dabei, auch räumliche Maßnahmen umzusetzen: „...Dabei werden gesellschaftliche Entwicklungen und moderne pädagogische Prinzipien wie individuelle Förderung, Arbeiten in unterschiedlichen Gruppengrößen, selbstorganisiertes und offenes Lernen sowie Projektunterricht im Bildungsbau einbezogen...“⁷ Inwieweit diese räumlichen Maßnahmen allerdings zur innovativen Umsetzung kommen, wird sich erst in den nächsten Jahren zeigen, da das Modell zwar seit 2008 als Schulversuch, aber erst seit 2012 als Regelschule existiert⁸.

Nichtsdestotrotz entsteht durch die geplanten Sanierungen ein substantielles Potential zur Reduktion treibhausrelevanter Emissionen bei bestehenden Schulen. Zurzeit wird dieses Potential jedoch nicht ausgeschöpft, da den Entscheidungsträgern keine umfassenden Konzepte, die auch energetische Kriterien berücksichtigen, vorliegen. Außerdem sind die vorhandenen Budgetmittel zur umfassenden Sanierung relativ gering, da der Neubau auch im Schulbau weit größere Budgetmittel in Anspruch nimmt: „...In den nächsten Jahren werden im Rahmen des Neubauprogramms Bildungseinrichtungen 2012 bis 2023 „elf neue multifunktionale ganztägig und ganzjährig geführte Bildungseinrichtungen in Form von Campus-Modellen gebaut. Die neuen Bildungseinrichtungen werden insgesamt rund 700 Millionen Euro kosten...“⁹

Demnach stehen für die Sanierung der 242 Pflichtschulen im Schnitt gerade einmal 2.3 Millionen Euro pro Schule zur Verfügung (570 Millionen Euro Gesamtbudget). Für den Neubau von 11 Schulen wird in Summe rund ein Viertel mehr Gesamtbudget oder 63 Millionen Euro pro Schule aufgewendet (700 Millionen Euro Gesamtbudget).

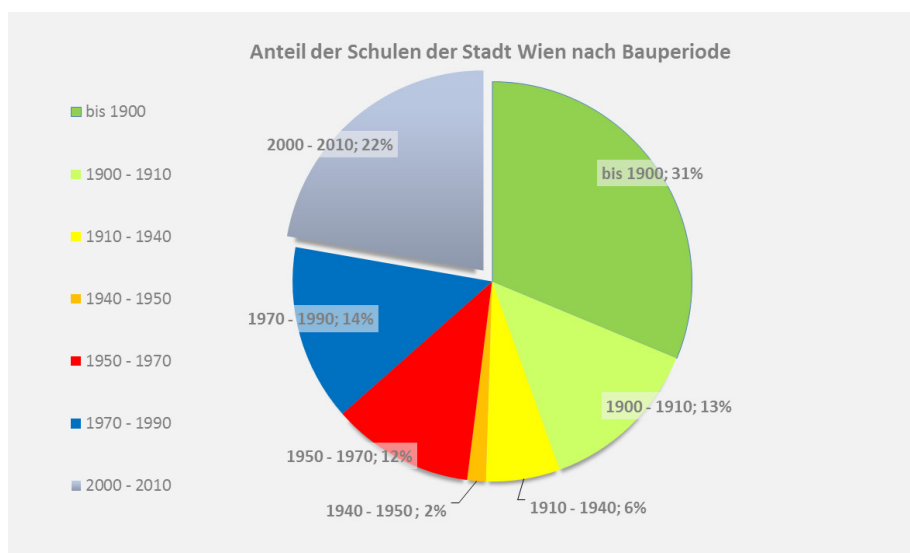


Abbildung 2: Anteil der Schulen der Stadt Wien nach Bauperiode (öffentliche Volks-, Haupt- und Sonderschulen im Verwaltungsbereich der Stadt Wien)¹⁰

⁷ www.wien.gv.at/bildung/schulen/schulbau/projekte/ Zugriff 15.05.2015

⁸ www.bmbf.gv.at/schulen/ Zugriff 15.11.2014

⁹ www.wien.gv.at/bildung/schulen/rahmenbedingungen/ Zugriff 15.05.2015

¹⁰ Basierend auf einer Datenerhebung der MA34 (Bau- und Gebäudemanagement) Wien (ausgenommen private Schulen)

Eine Aufschlüsselung des Gebäudebestands der Wiener Pflichtschulen nach Baualter zeigt, wo der Fokus der Sanierung erfolgen sollte: Knapp 80% dieser Schulen stammen aus dem 19. und 20. Jahrhundert und sind demzufolge Großteils sanierungsbedürftig - siehe Abbildung 2.

Damit gibt es genau in diesem Bereich einen hohen Bedarf an replizierbaren Konzepten, die nicht nur auf den Wiener Schulbau, sondern auch länderübergreifend angewendet werden können. Insbesondere Schulgebäude vor 1918 wurden in der Österreichisch-Ungarischen-Monarchie nach ähnlichen Schemata entworfen. Auch Nachbarländer angrenzend an den Osten Österreichs weisen ähnliche Schulgebäudetypen auf.

Generell weisen Bildungsgebäude, auch im internationalen Vergleich, eine ähnliche Gebäudestruktur auf. Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben wird, findet eine stärkere Differenzierung erst in den letzten Jahrzehnten statt, als die pädagogischen Konzepte vermehrt Einfluss auf das Raumprogramm genommen haben. Demnach bietet das Thema Sanierung im Schulbau Potential für einen länderübergreifenden Informations- und Erfahrungsaustausch. Der Annex 36 der International Energy Agency (IEA)¹¹ hat sich mit der Entwicklung des *Energy Concepts Advisors* zum Ziel gemacht, ein neues Planungswerkzeug für Entscheidungsträger im Bereich der Schulsanierungen zu entwickeln (Erhorn, H.; De Boer, J.; Kluttig, H. 2002). Hintergrund ist wie auch oben beschrieben, dass es den Entscheidungsträgern an den erforderlichen Informationen bezüglich Investitionskosten und Energieeffizienz einzelner Maßnahmen fehlt. Es werden anhand von 25 Fallbeispielen Leitfäden zur energieoptimierten Sanierung erstellt. Innerhalb der Arbeitsgruppe wurde eine öffentlich zugängliche online-Plattform aufgesetzt, die Entscheidungsträger bei der Analyse möglicher Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich Investitionskosten und Einsparpotential mit berechneten Szenarien unterstützt (Erhorn, Mroz, et al. 2007) und (Erhorn-Kluttig 2002).

In einer Studie der Intelligent Energy Europe (IEE)¹² der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2007 wurden fehlendes technisches Wissen bei Entscheidungsträgern und Schulverantwortlichen, fehlende Priorität in den Lehrinhalten an den Universitäten und fehlende finanzielle Unterstützung als die drei Haupthemmnisse für die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen in Schulen identifiziert (IEE 2007).

Energieeffizienz in Schulbauten hat jedenfalls auch Vorbildwirkung: 200.000 Schülerinnen und Schüler besuchen in Wien eine von fast 700 Schulen, davon 104.000 eine von 380 Wiener Pflichtschulen¹³. Rechnet man dazu noch Eltern, Lehrer und andere Betreuer, so erreicht man mit dieser Vorbildwirkung rund ein Viertel der Wiener Bevölkerung.

¹¹ www.annex36.com

¹² ec.europa.eu/energy/intelligent/about/iee-programme/index_en.htm

¹³ www.wien.gv.at/bildung/schulen // Zugriff 06.01.2014

1.2. Ziele

Diese Arbeit zielt darauf ab, Einflussfaktoren zu identifizieren und darauf aufbauend replizierbare Konzepte zu erstellen, um umfassende Sanierungen im Schulbau zu fördern.

Der Fokus liegt dabei auf der Darstellung der synergetischen Effekte von energieeffizienten Maßnahmen und architektonischen Verbesserungen, die vor allem die geänderten funktionalen Raumanforderungen der neuen Schulformen berücksichtigen. Übergeordnetes Ziel ist es, relevanten, an der Schulsanierung beteiligten Interessensvertretern Grundlagen für Entscheidungshilfen zu liefern.

Aus der in Abschnitt 1.1 beschriebenen Problemstellung geht hervor, dass Sanierungen im Gebäudebestand einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der treibhausrelevanten Emissionen leisten können und müssen. Schulbauten im öffentlichen Eigentum haben durch Vorbildwirkung und Sichtbarkeit einen besonders hohen Stellenwert. Durch die Veränderung der Schulformen und der in den Schulen angewandten Didaktik ergeben sich darüber hinaus neue Anforderungen an den Schulbau, die nicht nur im Neubau, sondern auch im Bestand umgesetzt werden sollten.

Die Kernpunkte der Arbeit lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Darstellung der spezifischen Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen im Schulbau und im speziellen in der Schulsanierung
- Abbildung der architektur- und raumspezifischen Anforderungen im Schulbau basierend auf den neuesten Schulformen und pädagogischen Konzepten
- Beschreibung des methodischen Ansatzes Richtung energieoptimierter Sanierungskonzepte in Verbindung mit neuen Raumanforderungen im Schulbau
- Modularer Aufbau von Sanierungskonzepten mit unterschiedlicher Komplexität und unterschiedlichem Innovationsgrad
- Fokussierung auf Replizierbarkeit und Umsetzbarkeit für eine Vielzahl von Schulgebäudetypen

1.3. Methodik

Sanierungsvorhaben stellen – besonders, wenn sie den Anspruch auf Nachhaltigkeit sowohl aus räumlich-ästhetischer, funktionaler als auch energetischer Perspektive haben – komplexe Bauvorhaben dar, für welche es keine generell anwendbaren Standardlösungen gibt. Im Schulbau wirken darüber hinaus zusätzliche Einflussfaktoren bezüglich Eigentümerstruktur, Finanzierung und rechtlicher Aspekte.

Nichtsdestotrotz hat diese Arbeit den Anspruch Lösungswege aufzuzeigen, die eine Replizierbarkeit der Konzepte ermöglichen. Ein besonderer Fokus wird demnach auf den methodischen Ablauf gelegt, um ähnliche Fragestellungen in einer Vielzahl an möglichen Projekten zu adressieren.

Die Methodik der Arbeit gliedert sich dabei in 3 wesentliche Schritte, die im Folgenden näher beschrieben werden:

1. Analyse der Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen bilden eine wesentliche Grundlage, da ein Verständnis der in der Schulsanierung wirkenden Einflussfaktoren unabdingbar ist, um replizierbare Lösungen aufzuzeigen. Die in Kapitel 2 dargestellten Rahmenbedingungen fokussieren dabei sowohl auf politische, institutionelle und ökonomische Rahmenbedingungen als auch auf technisch, architektonisch relevante Aspekte. Die Literaturrecherche bildet dabei die Basis der Analyse. Dabei lassen sich vier relevante Themenblöcke unterscheiden: Schulbau allgemein (Gestaltung, Psychologie und Entwicklung), Energieeffizienz (Architektur, Haustechnik, erneuerbare Energiesysteme), Sanierung (Architektur, Schulbau) und institutionelle Grundlagen (Struktur und politische Rahmenbedingungen, Gesetze und Normen). Einen weiteren wesentlichen Aspekt der Analyse stellen die Projektbeispiele dar, an Hand derer Rückschlüsse auf den Innovationsgrad, die Anwendbarkeit und konkrete Umsetzbarkeit (Anzahl der umgesetzten Projekte) gezogen werden können.

2. Entwicklung der Methodik zur Erstellung von Sanierungskonzepten

Die Erstellung von energetischen Konzepten in Neubau und Sanierung folgt einer inhärenten Logik, deren Grundlage immer die Analyse der Rahmenbedingungen vorausgeht. Darauf aufbauend folgt die Methodik der ökonomisch und ökologisch getriebenen Logik der Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs, der Einbindung effizienter Gebäudetechnik und der Integration erneuerbarer Energiesysteme. Abgeleitet von der allgemeinen Methodik zur Erstellung von energieoptimierten Konzepten wird eine speziell auf die Schulsanierung adaptierte Methodik entworfen. Schwerpunkt bildet dabei die Verknüpfung und Wechselwirkung von energieoptimierten Sanierungskonzepten in Verbindung mit neuen Raumanforderungen in bestehenden Schulbauten. Basierend auf den Erkenntnissen des Projekts SchulRen+ (Dubisch, et al. 2012) werden dabei die Konzepte modular aufgebaut, um eine Differenzierung einzelner Maßnahmen und

unterschiedliche Innovationsgrade zu ermöglichen. Ergebnis sind Sanierungskonzepte, die jeweils die funktionalen architektonischen und haustechnikrelevanten Einzelmaßnahmen beschreiben. Die entwickelten Konzepte werden an einem Fallbeispiel energetisch analysiert und bewertet.

3. Darstellung der Umsetzbarkeit anhand eines Fallbeispiels

In einem dritten Schritt sollen an Hand eines konkreten Fallbeispiels die entwickelten Maßnahmenbündel ausgetestet werden, um Rückschlüsse sowohl auf die funktionale und architektonische Umsetzbarkeit als auch energetische Optimierung ziehen zu können.

Ein typischer Wiener Schulbau aus der Gründerzeit, der exemplarisch für eine Vielzahl an vergleichbaren Schulgebäuden ausgewählt wurde, wird dabei analysiert. Die Methodik basiert dabei auf konventionellen Methoden der Planung (Gebäudeanalyse, Raumprogramm), Simulationen und Berechnungen der Lebenszykluskosten. Die energetische Bewertung der Konzepte wird durch thermisch dynamische Simulationen in der Simulationsumgebung Trnsys 17¹⁴ durchgeführt. Die Ergebnisse stellen die Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs und der Energiebereitstellung in Abhängigkeit von Energieträger sowie die eingesparten CO₂-Emissionen im Vergleich zum unsanierten Zustand dar. Die Simulation der kritischen Bereiche erfolgt durch die Simulationsprogramme GEBA¹⁵ und AnTherm¹⁶.

¹⁴ Trnsys: TRaNsient Systems Simulation; thermisch-dynamisches Simulationswerkzeug zur Simulation von Anlagen und Gebäuden, welches 1975 an der Universität von Wisconsin entwickelt wurde.

¹⁵ Programmpaket zur Simulation des thermischen Verhaltens von Räumen, Raumgruppen und Gebäuden im periodisch eingeschwungenen Zustand, insbesondere für normgemäße Sommertauglichkeitsuntersuchungen (z. B. gemäß EN ISO 13791 oder ÖNorm B8110-3) und für dynamische Heiz- und Kühllastberechnungen; nach www.krec.at / Zugriff 10.09.2014

¹⁶ Programmpaket zur zwei- und dreidimensionalen, stationären und instationären Wärmebrückensimulation; nach www.krec.at / Zugriff 11.09.2014

1.4. Aufbau

Die **Einleitung** bildet mit **KAPITEL 1** den ersten Teil dieser Arbeit und enthält eine Kurzdarstellung der **Problemstellung, Ziele, Methodik** und den hier dargestellten **Aufbau**.

Der inhaltlich, analytische Teil der Arbeit gliedert sich in drei Kapitel, die im Folgenden kurz umrissen werden:

KAPITEL 2 beschäftigt sich mit den Hintergründen und **Rahmenbedingungen**, die wesentliche Einflussfaktoren auf den Schulbau und die energetische Schulsanierung darstellen. Die **Entwicklung von Schulgebäuden** liefert wichtige Einblicke dazu, wie der Schulbau durch historische Einflüsse verändert wurde. **Politische und institutionelle Rahmenbedingungen** erläutern die aktuelle Entwicklung der Schultypen. Hier werden vor allem auch Barrieren und Treiber diskutiert, die in der Schulsanierung hinderlich oder unterstützend wirken. Dabei wird auch auf die komplexe Struktur der Zuständigkeiten mit Fokus auf den Wiener Schulbau eingegangen. Der Gebäudetyp Schulbau unterliegt **Spezifischen Anforderungen** hinsichtlich Komfort und Raum, aus denen sich eigene Leitbilder entwickelt haben. Anhand von **Typologien** lassen sich allgemeine Aussagen bezüglich passender Sanierungsmaßnahmen ableiten. Darauf aufbauend werden im Abschnitt **Energetische Sanierung** die wesentlichen Einflussparameter dargestellt. Die Darstellung der für den Schulbau relevanten **Haustechnik-Komponenten und erneuerbare Energietechnologien** bildet eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung der Sanierungskonzepte. Aus diesen Anforderungen werden im letzten Abschnitt die **Gestaltungsperspektiven im Schulbau** abgeleitet und diskutiert.

In **KAPITEL 3** wird die **Methodik**, die der Entwicklung von energie- und funktional-optimierten Sanierungskonzepten zu Grunde liegt, beschrieben. Die **Gebäudeanalyse** beschreibt dabei den architektonischen und baulichen Ist-Zustand des Gebäudes sowie die Erfassung der Energiekennzahlen im Bestand. Das **Zielbild** legt die Grundlage für die Anforderungen der Sanierung. Im Abschnitt **Erstellung von Energiekonzepten** werden die einzelnen Schritte zur Erstellung eines Energiekonzepts detailliert dargestellt. Im Abschnitt **Modularer Aufbau ganzheitlicher Sanierungskonzepte** im Schulbau werden Einzelmaßnahmen dargestellt, die je nach Anforderung zu Maßnahmenbündel verknüpft werden können, um größtmögliche Flexibilität für unterschiedliche Gebäudetypologien zu gewährleisten. Die **Bewertung der Sanierungskonzepte** bildet den Abschluss des dritten Kapitels.

Ein konkreter Anwendungsfall zur Konzeptentwicklung wird in **KAPITEL 4 Beispiel** analysiert. Hier werden basierend auf der in Kapitel 3 beschriebenen Methodik in den ersten Schritten die **Gebäudeanalyse** und das **Zielbild** erstellt. Darauf aufbauend werden die **Sanierungskonzepte** erarbeitet und im Abschnitt **Bewertung der Sanierungskonzepte** analysiert und zusammengefasst.

Die **Zusammenfassung in KAPITEL 5** sowie die **Schlussfolgerungen in KAPITEL 6** bilden den Abschluss des inhaltlichen Teils, in dem die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst und diskutiert werden. Basierend auf den Zielen der Arbeit

werden konkrete Lösungsansätze dargestellt, die sich prioritär aus der Analyse des Themas herauskristallisiert haben.

Die beiden letzten Kapitel bilden das **Literaturverzeichnis in KAPITEL 7** sowie der **Annex in KAPITEL 8**, der **Verzeichnis Tabellen, Verzeichnis Abbildungen und Abkürzungen** enthält. Im Annex sind die **Methodik der Energiekonzepte** sowie für das Thema dieser Arbeit relevante **Projektbeispiele** dargestellt. Die Auswahl basiert auf Schulsanierungen im Bereich Passivhaus-Standard bzw. Neubauten mit Plus-Energie-Standard im nationalen und europäischen Bereich. In Abschnitt 8.6 sind die **Berechnungstabellen der Lebenszykluskosten** in Auszügen dargestellt. Am Ende von Kapitel 8 sind unter der Überschrift **Abbildungen Originalgröße (Auszug)** einige Abbildungen, die im Text nur verkleinert dargestellt werden, zur besseren Lesbarkeit nochmals in Originalgröße bzw. vergrößert dargestellt.

2. Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden die Hintergründe und Rahmenbedingungen, welche die aktuelle Ausgangslage im Bereich der energie- und raumoptimierten Schulsanierung bestimmen, dargestellt. Ein Abriss der Architekturgeschichte zur **Entwicklung von Schulgebäuden (Abschnitt 2.1)** liefert dazu einen relevanten Einblick, wie, in welcher Form und durch welche historischen Einflüsse der Schulbau in den letzten Jahrhunderten verändert wurde. **Politische und institutionelle Rahmenbedingungen (Abschnitt 2.2)** erläutern die aktuelle Entwicklung der – nicht physischen – Schultypen und die gegenwärtige gesellschaftspolitische Diskussion in diesem Kontext. Der Gebäudetyp Schulbau unterliegt vor allem aus der physiologischen Perspektive der Nutzer **Spezifischen Anforderungen (Abschnitt 2.3)**, die sowohl die Gestaltung als auch die Energieeffizienz erheblich beeinflussen. Basierend auf den **Typologien (Abschnitt 2.4)** der Gebäude können allgemeine Aussagen bezüglich passender Sanierungsmaßnahmen getroffen werden. Darauf aufbauend werden im **Abschnitt 2.5 Energetische Sanierung** jene Parameter, die die energetische Sanierung maßgeblich beeinflussen, dargestellt. Daran anschließend werden in **Abschnitt 2.6** die speziell für den Schulbau relevanten **Haustechnik-Komponenten und erneuerbare Energietechnologien** beschrieben. Aus diesen Anforderungen werden im letzten Abschnitt die **Gestaltungsperspektiven im Schulbau (Abschnitt 2.7)** abgeleitet und diskutiert.

2.1. Entwicklung von Schulgebäuden

Im nachfolgenden soll in einem **geschichtlichen Abriss** auf die Entwicklung der Schulgebäude von den ersten Dokumentationen seit der Neuzeit bis zur Gegenwart eingegangen werden. Die im Rahmen dieser Arbeit beispielhaft betrachteten Wiener Schulgebäude werden nach typischen Merkmalen und demnach sowohl nach Baualter als auch nach Bautyp kategorisiert und analysiert. In einem zweiten Abschnitt werden die **Schultypen aus pädagogischer Sicht** beschrieben, um daraus Rückschlüsse auf die architektonischen und energetischen Anforderungen neuer Sanierungskonzepte ableiten zu können.

GESCHICHTLICHER ABRISS

Die Entwicklung der Schultypen und damit einhergehend der Schulgebäude ist auch gleichzeitig ein Abbild der Gesellschaft, in der diese Bauwerke errichtet wurden. Göhlich definiert dabei in einem Diskurs zur Schulentwicklung (Böhme 2009) vier Perioden, die jeweils im historischen Kontext unterschiedlich groß, jedoch aus schulpädagogischer und architektonischer Sicht klar voneinander abgegrenzt werden können: Mittelalter (Ende der Antike bis 15. Jhd.) und frühe Neuzeit (Spätmittelalter bis frühes 19. Jhd.), Moderne

(19.Jhd), Reformpädagogik (1890 bis ca.1930) und Postmoderne (Gegenwart).¹⁷ Dabei beschreibt er die Veränderung von häuslich, Ein-Raum, dezentral (Mittelalter) zu militärisch, Mehr-Raum, zentral (Moderne), zu Natur, Gruppenraum, öffnend (Reformpädagogik) bis zum hybriden und interaktiven Raum (Postmoderne). Die folgenden Beschreibungen fokussieren dabei vor allem auf den Mitteleuropäischen bzw. deutschsprachigen Raum.

Im Bereich der ersten Periode von Mittelalter und Frühe Neuzeit sind zwei Typologien zu unterscheiden: die weltliche Schule, die den Bezug zur Handwerkszunft darstellt und dem Schüler in erster Linie Lesen und Rechnen beibringen sollte, und die geistliche oder kirchliche Schule, die den kirchlichen Interessen unterworfen war. Erstere ist als Schule zumeist im Haus des Lehrers angesiedelt und fungiert dadurch auch unter der Bezeichnung ‚Schulhaus‘. Selbst bei größeren Schulen wurde das Wohnen des Lehrpersonals eng mit dem eigentlichen Schulhaus verbunden (Böhme 2009). Die Auffassung, dass es in jedem Haus nur einen Hausherrn geben konnte, spiegelte sich in der herrschaftlich geordneten Welt im Bereich der Schulen damit wider, dass es nur einen Schulmeister und damit nur einen Schulraum geben könnte (Lange 1967).

Im Gegensatz zur häuslichen Raumsituation in den Schulhäusern, wo der Unterricht durch gemeinsame Übungen geprägt war und demnach eine flexible Raumaufteilung erforderte, war die kirchliche Schule geprägt durch das „*Hören, Lesen und Rezitieren*“ (Böhme 2009) der Schüler. Das erforderte eine streng hierarchische Ordnung im Raum, die in Ansätzen dem noch immer vorherrschenden ‚Frontalunterricht‘ ähnelt. Ab dem 16. Jahrhundert war die rein kirchliche Schule in Klöster und Stiften angesiedelt und fokussierte sich auf den Katechismus bzw. rein theologische Fächer.

Erst durch Johann Amos Comenius (1592-1670), der als einer der bedeutendsten Pädagogen des 17. Jahrhunderts gilt, begann in Europa eine neue Ära der Pädagogik. Mit seinem Grundsatz „...*alle alles in Rücksicht auf das Ganze zu lehren*...“ führte er nicht nur Klassenverbände ein, sondern unterteilte die Schüler auch nach Altersjahrgängen. Damit initiierte er eine grundlegende Änderung des Bildungszugangs. In Abweichung des elitären und thematisch und didaktisch eingeschränkten Unterrichts der Kirche propagierte er Allgemeinbildung ohne Ausgrenzung und schaffte damit in ersten Ansätzen Chancengleichheit in der Bildung geschlechterübergreifend und über alle sozialen Schichten gehend¹⁸.

Damit änderte sich vor allem für die weltlichen Schulen die räumliche Situation des Unterrichts: weg von der Ein-Raum-Schule im Hausverband der Lehrenden hin zu einem speziell für den Unterricht entwickelten Gebäude mit ruhigen Bereichen, die zum Lernen anregen sollten, und Freiflächen vor der Schule (Walden und Borrelbach 2006). Die räumliche Entwicklung aus dem davor vorherrschenden ‚Schulhaus‘ in ein speziell für den Unterricht entwickeltes Bauwerk stellt damit erstmals den uns bis jetzt bekannten Gebäudetyp des ‚Schulgebäudes‘ dar.

¹⁷ Historische Zeitangaben aus www.wikipedia.org / Zugriff 15.05.2015

¹⁸ www.wikipedia.org / Zugriff 15.05.2015

Im folgenden 18. Jahrhundert begannen sich die europäischen Staaten durch die fortschreitende Industrialisierung mehr und mehr für die allgemeine Schulbildung einzusetzen, um geeignete Arbeitskräfte für die Wirtschaft auszubilden. In Österreich wurde 1774 erstmals die allgemeine Unterrichtspflicht für eine Mindestdauer von 6 Jahren von Kaiserin Maria Theresia (1717–1780) für die unter habsburgischer Herrschaft stehenden Länder eingeführt¹⁹. Unterschiede in der Bautypologie finden sich in dieser Zeit vor allem zwischen den ländlichen und städtischen Schulen: erstere waren kleinere, meist zweistöckige Gebäude, in denen mehrere Jahrgänge zusammengelegt und zumeist durch die Nähe zur Pfarrkirche ein zentraler Bestandteil des Dorfsentrums waren. Viele dieser Schulen wurden jedoch nicht in erster Linie als Zweckbau errichtet, sondern es wurden vielmehr bestehende Gebäude umfunktioniert. Freyer dokumentiert am Beispiel Unterfranken, dass in der Regel bis ca. 1870 nur dann Neubauten für Schulen errichtet wurden, wenn dem Raumbedarf nicht anders entsprochen werden konnte (Freyer 1998).

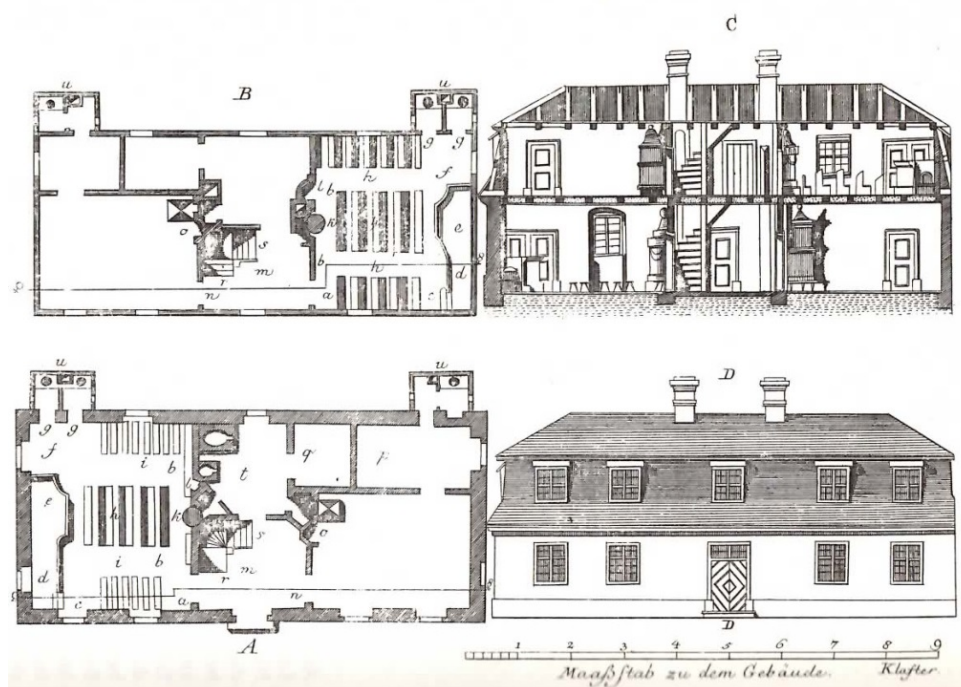


Abbildung 3: Entwurf von J.I.Felbiger für ein Landschulhaus, 1783 (Lange 1967)²⁰

Die aus dieser Zeit erhaltenen Grundrisse erinnern eher an Wohn- als an Schulgebäude, siehe beispielhaft in Abbildung 3 Entwurf für ein Landschulhaus von 1783, welches im Erdgeschoss noch das Zimmer des Schulmeisters enthält. Eine einklassige ‚Musterschule für Landgemeinden‘ wurde erstmals auf der Weltausstellung 1873 nach den Plänen des Wiener Architekten A. Knuholz vorgestellt. Diese Schule wurde in Folge in Österreich vielfach umgesetzt (Klasen 1884).

Die Stadtschulen waren durch entsprechend mehrgeschossige, großvolumige Gebäude charakterisiert, um die Vielzahl der Schüler räumlich und organisatorisch unterzubringen

¹⁹ www.bmbf.gv.at/schulen/bw/ueberblick/sw_oest.html / Zugriff 15.05.2015

²⁰ Vergrößerte Ansicht siehe Annex / Abschnitt 8.7

(Walden und Borrelbach 2006). Die Anzahl der Schüler pro Klasse wurde damals in Österreich durch eine Ministerialverordnung vom 9. Juni 1873 mit einem Maximum von 80 festgelegt. Hinträger empfiehlt jedoch in seinem Werk zur inneren Einrichtung von Schulgebäuden eine Anzahl von nicht mehr als 45 Schülern (Hinträger 1887).

In der Moderne des 19. Jahrhunderts hat sich dieser städtische Schultyp in einer rigiden Art und Weise weiterentwickelt: Während die anglikanischen Schulen dieser Zeit das gemeinsame und ‚häusliche‘ des Unterrichts in *assembly halls* bzw. flexibel strukturierten und gemeinsamen Klassenzimmern ansatzweise fortwirken lassen, entwickelt sich die Preußische Schule Richtung Kasernenarchitektur und militärischer Ordnung. Dabei wurde auch in dieser Zeit - wie von Lange in (Lange 1967) dokumentiert - das englische System dem preußischen System kritisch gegenübergestellt.

Dies erinnert an die aktuelle Diskussion der modernen Schulpädagogik, die sich auch in der Architektur der Schulgebäude widerspiegeln sollte: „...*The first point which strikes the visitor to German schools is the uniformity with which one system of teaching is applied to all the children, from the youngest to the eldest. The second, the uniformity with which one system or principle planning is applied alike to different kinds of scholastic buildings. Herein lies the origin of much of the difference between a continental and an English schoolhouse. The system of public instruction is almost if not quite, as military in spirit as that which governs the army, and the buildings do not escape the regime...German schools may equally be classed as a series of small barracks...*“ (Lange 1967).

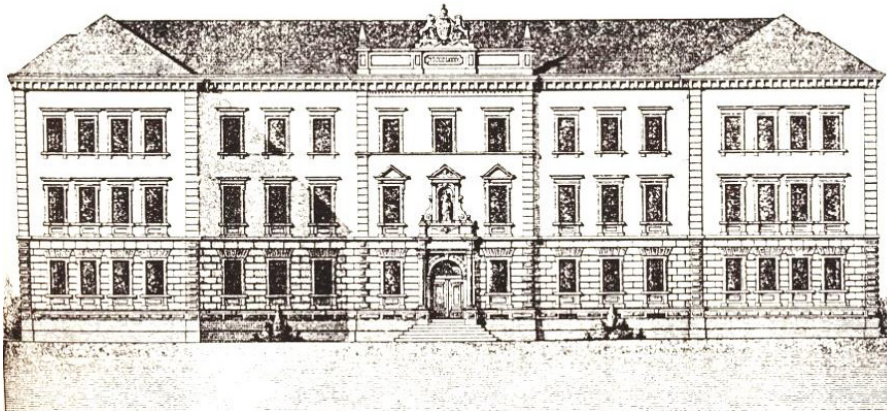


Abbildung 4: Ansicht des Riemenscheider Gymnasiums in Würzburg, erbaut 1836²¹

Die Grundrisse unterstützen einen formalisierten Frontalunterricht, einheitliche und strikt getrennte Klassenzimmer sind von Fluren erreichbar. Die Räume und Möblierung sind dabei zentralistisch auf den Lehrer ausgerichtet (Böhme 2009) - siehe Abbildung 5 und Abbildung 6. Die Fassadengestaltung spiegelt die Ordnung wider. Beispielhaft ist in Abbildung 4 die Ansicht eines Mitte des 19. Jahrhunderts errichteten deutschen Gymnasiums dargestellt.

²¹ www.riemenschneider-gymnasium.de / Zugriff 08.08.2014

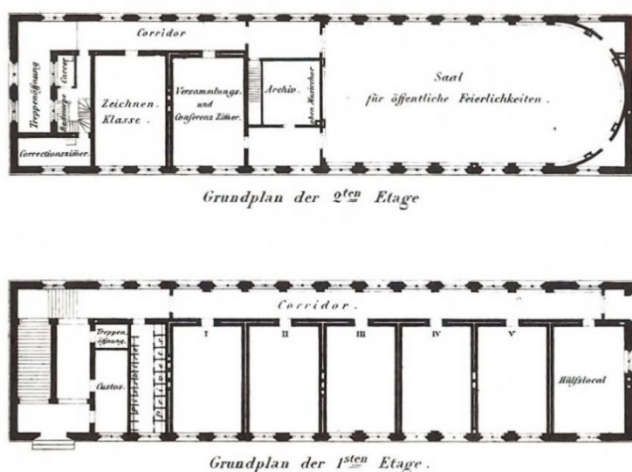


Abbildung 5: Gelehrtenschule des Johanneum, Hamburg 1840 (Lange 1967)²²

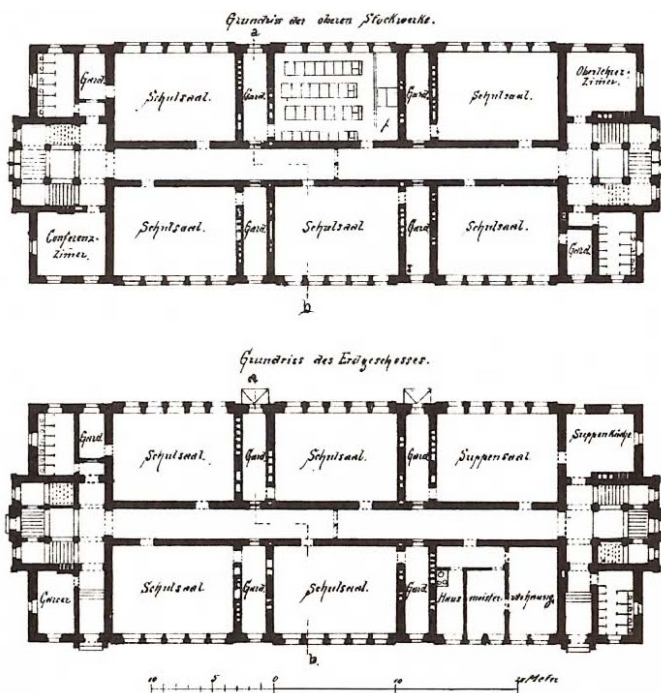


Abbildung 6: Volksschule, München, um 1875 (Lange 1967)²³

In diese Periode fällt auch die Entwicklung des Reichsvolksschulgesetzes (1869), das das gesamte Pflichtschulwesen auf eine einheitliche Basis stellen sollte. Die Schulpflicht wurde in diesem neuen Gesetz von sechs auf acht Jahre erhöht.²⁴ Die Grundrisse aus dieser Zeit dokumentieren anschaulich Effizienz und Zweckmäßigkeit dieser Bauten, die später als ‚Schulkaserne‘ oder auch ‚staatliche Bildungsfabriken‘ kritisiert wurden - siehe dazu (Lange 1967).

²² Vergrößerte Ansicht siehe Annex / Abschnitt 8.7

²³ Vergrößerte Ansicht siehe Annex / Abschnitt 8.7

²⁴ www.bmbf.gv.at/schulen/bw/ueberblick/sw_oest.html / Zugriff 15.05.2015

Die Klassenzimmergröße, die sich in dieser Zeit aus der Formel: 60 Kinder pro Klasse, $1\text{m}^2/\text{Kind}$, zwei Lehrer, $1,5\text{m}^2$ pro Lehrer = 63m^2 ergeben hat, hat sich bis heute in ihren Grundzügen nicht verändert. Die Schülerzahlen wurden jedoch im Laufe der Jahre sukzessive reduziert: Hatte im Jahre 1847 ein Volksschullehrer noch durchschnittlich 88 Schüler zu unterrichten, waren es im Jahre 1871 noch 70 und im Jahr 1872 ‚nur‘ noch 61 Schüler (Klasen 1884). Die Proportionen von $7\text{m} \times 9\text{m}$ sind immer noch vorherrschend, was auch in den aktuellen Entwurfs-, Planungs- und Ausführungsrichtlinien der Stadt Wien dokumentiert ist: Die Stammklassenräume sind laut dem Schulorganisationsgesetz 1976 für 30 Schüler mit einer Mindestgröße pro Klasse von 63m^2 und einer maximalen Raumtiefe von 7m vorzusehen (Maderthaler 2002).

Dass diese Entwicklung auch in Österreich Einzug gefunden hat, belegen die zahlreichen ‚Kasernenschulen‘, die teilweise noch erhalten und in Betrieb sind. Alleine in Wien bildet die Gruppe der Volks- und Hauptschulen, die bis 1900 errichtet wurden, über 30% des aktuell genutzten Gesamtbestands - siehe Abbildung 7.

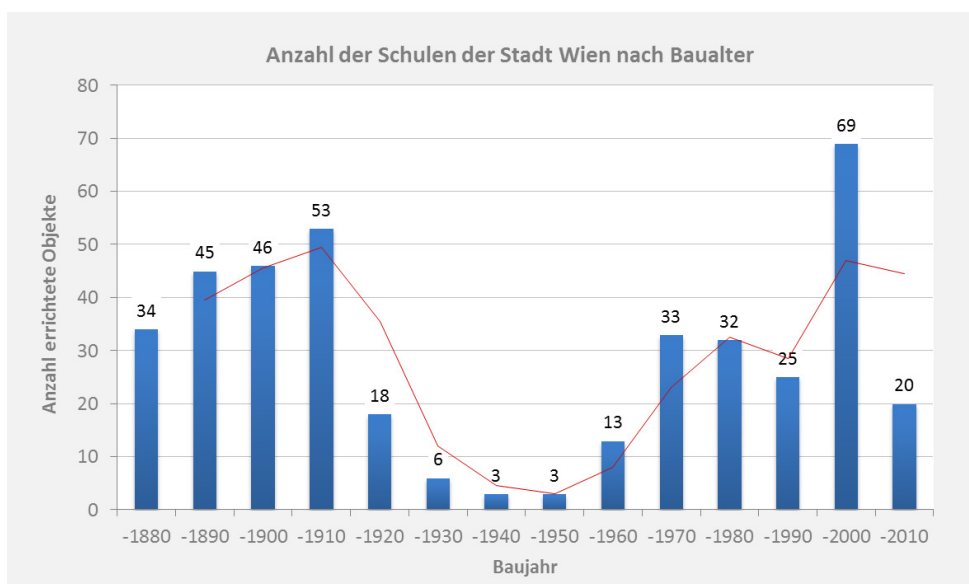


Abbildung 7: Anzahl der Schulen der Stadt Wien (öffentliche Volks-, Haupt- und Sonderschulen im Verwaltungsbereich der Stadt Wien) nach Baualter²⁵

Für die kleineren (und zumeist ländlichen) Schulen hat sich der Schultyp vom ‚Schulhaus‘ langsamer in Richtung ‚Schulgebäude‘ entwickelt. Klasen beschreibt in seinem Handbuch (Klasen 1884) eine Vielzahl an Typologien, die diese Entwicklung nachvollziehbar machen. Von der ‚Ein-Raum-Schule‘ zur ‚Zwei-Klassen-Schule‘ bis zur ‚Mehr-Klassen-Schule‘, die an die städtischen Kasernenschulen anschließt.

Die Form und Ausrichtung der Klassenzimmer bleibt – ungeachtet der Größe der gesamten Schule – zumeist unverändert. Ein rechteckiger Grundriss mit einseitiger Belichtung, ausgerichtet auf den Frontalunterricht ist das vorherrschende Modell.

²⁵ Basierend auf einer Datenerhebung der MA34 (Bau- und Gebäudemanagement) Wien

Eine Auswahl dieser Grund-Typologien ist in Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

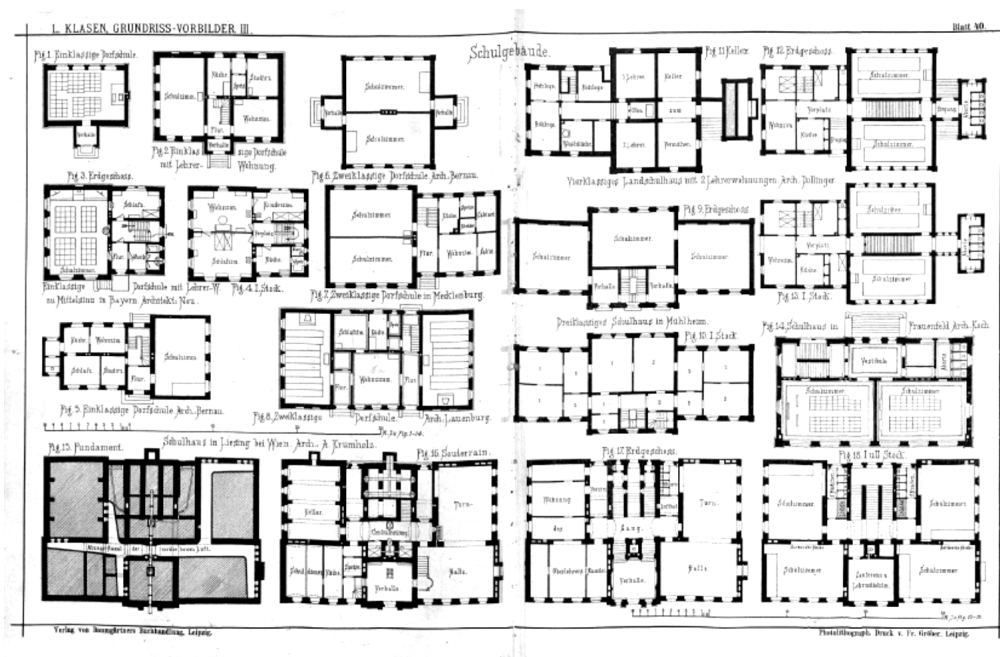


Abbildung 8: Grundriss-Vorbilder, Blatt 40 (Klassen 1884)²⁶

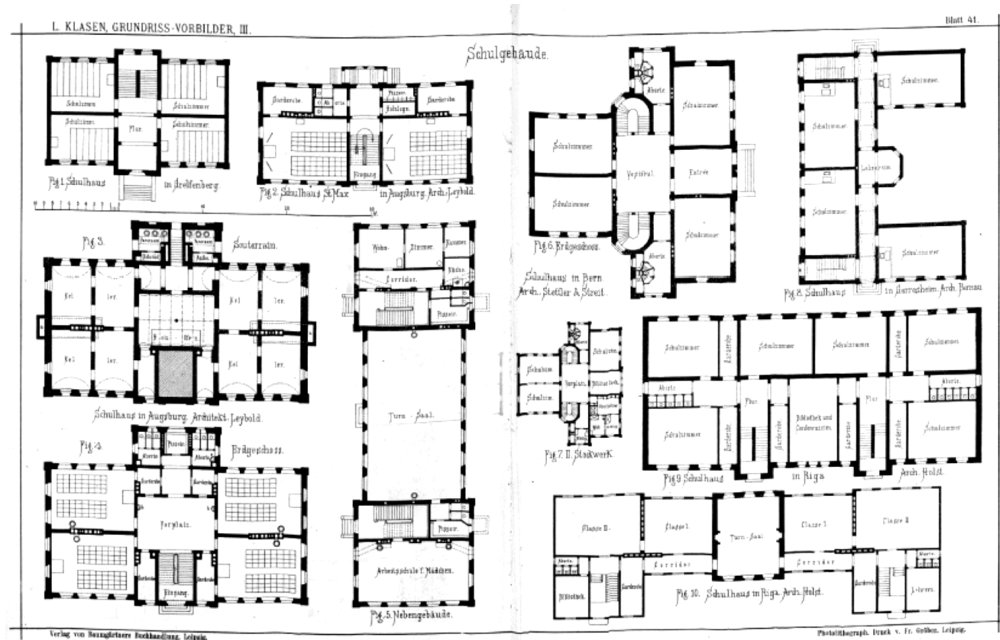


Abbildung 9: Grundriss-Vorbilder, Blatt 41 (Klassen 1884)²⁷

²⁶ Vergrößerte Ansicht siehe Annex / Abschnitt 8.7
²⁷ Vergrößerte Ansicht siehe Annex / Abschnitt 8.7

Anhand dieser Grundrisstypologien lassen sich gut die Entwicklungsstufen ablesen: in Blatt 40 (Abbildung 8) sind die einfachsten Bautypen dargestellt. Die Ein-Raum-Schule, teilweise noch ohne Lehrerwohnung, entwickelte sich zur Mehr-Raum-Schule, die auch dem Lehrpersonal als Wohnung dienen konnte, bis zur Mehr-Klassen Schule. Mehrgeschossige Schulen mit bis zu 10 Klassen (Blatt 41, Abbildung 9) bilden mit der zentralen (vertikalen) Erschließung und den mehrflügeligen horizontalen Erschließungszonen die Grundtypen zahlreicher noch in Betrieb befindlicher Wiener Schulen. In Blatt 43 (Abbildung 10) werden die ersten Ansätze zur Kammbebauung dargestellt. Einheitlich sind jeweils die Proportionen sowie Ausrichtung der Klassenräume: einseitige Belichtung von rechts (aus der Sicht des Lehrerpults).

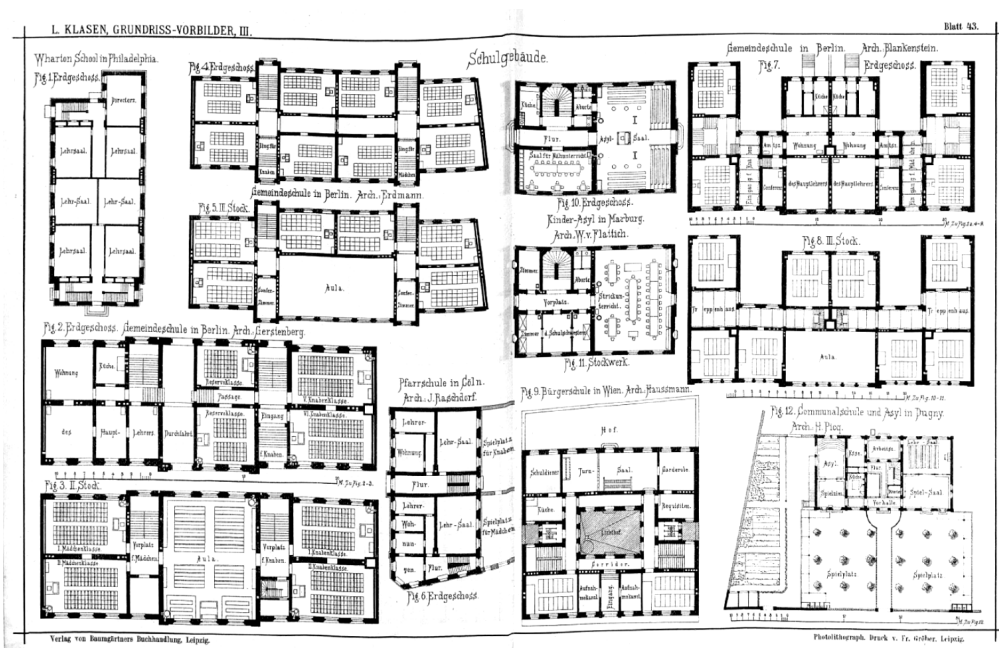


Abbildung 10: Grundriss-Vorbilder, Blatt 43 (Klassen 1884)²⁸

Diese Entwicklung zur ‚Kasernenarchitektur‘ im Schulbau, die ausschließlich auf den Frontalunterricht abzielt, hatte eine teilweise rigide Form des Unterrichts zur Folge. Von eben dieser pädagogischen Sichtweise versuchte die Reformpädagogik, die mit Ende des 19. Jahrhunderts einsetzte und bis ca. 1930 andauerte, abzukommen. Die bekanntesten Vertreter dieser Bewegung wie Maria Montessori (1870–1952) und Rudolf Steiner (1861–1925) beschäftigten sich nicht nur mit rein didaktischen und pädagogische Maßnahmen, sondern fokussierten einen Bereich ihrer Studien auf die räumliche Umgebung des Unterrichts (Walden und Borrelbach 2006). Kindgerechte und damit auch den kindlichen Proportionen angepasste Raumausstattungen und Möbel sowie Licht- und Luftqualität und Bezug zur Umwelt, dem Klima und dem Außenraum standen dabei im Vordergrund. Rudolf Steiner beschäftigte sich dabei eingehend mit Farben- und Formenlehre. Die von ihm gegründeten Waldorfschulen sind mit ihrem anthroposophischen Ansatz vor allem auch an ihrer gewölbartigen Bauformen und gegliederten Fassaden erkennbar. Göhlich

²⁸ Vergrößerte Ansicht siehe Annex / Abschnitt 8.7

beschreibt zudem in (Böhme 2009), dass der reformpädagogische Ansatz auch als Rückkehr zur ursprünglichen Schulform des ‚Schulhauses‘ angesehen werden kann, in dem den Unterrichtsräumen vor allem auch eine Wohnlichkeit zu Grunde liegt. Vereinzelt Beispiele an Schulgebäuden zeugen von diesen Veränderungen.

Die architektonischen Neuerungen fallen in dieser Periode jedoch vor allem im Innenraum auf, da mit Ausnahme der Waldorfschulen die externen Parameter der Schularchitektur wenig verändert wurden. Bemerkenswert wurde jedoch schon, dass die klassischen Gangschulen, die nur mit einer Fensterfront ausgestattet werden können, eine adäquate Gruppenarbeit, die flexiblere Lichtverhältnisse erfordert, nicht zulassen. 1918 wurde auch die bis heute wirkende Schulreform vom Präsidenten des Wiener Stadtschulrates Otto Glöckel eingeleitet.

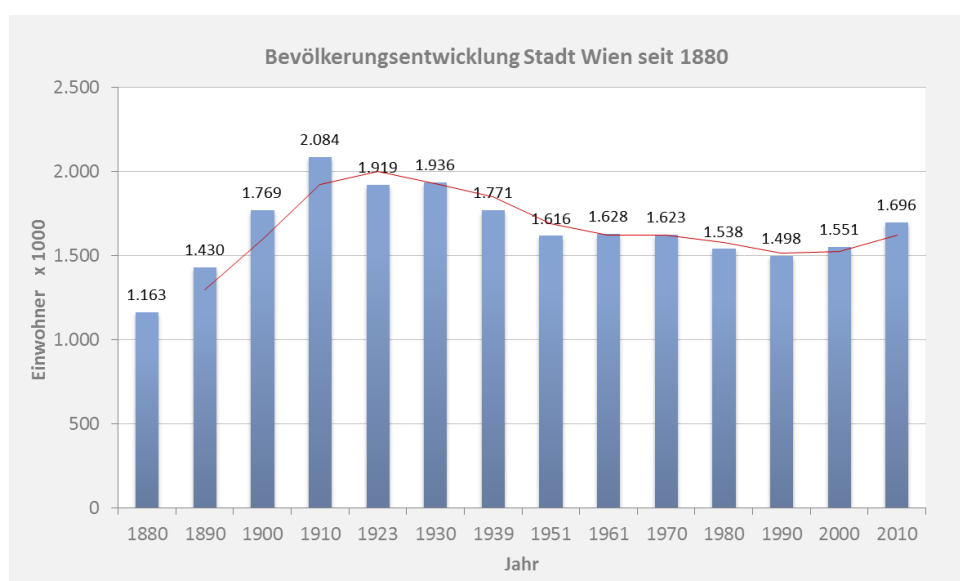


Abbildung 11: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Wien seit 1880 ²⁹

Damit wurde gesichert, dass allen Kindern, unabhängig von Geschlecht oder sozialer Lage, eine optimale Bildungsentfaltung zukam³⁰. 1927 wurde die Hauptschule eingeführt, die Pflichtschule für die 10- bis 14-jährigen. Zu einer grundlegenden Veränderung der Architektur kam es jedoch nicht. In Wien wurden in der Periode zwischen 1890 und 1910 knapp 100 Schulen errichtet, die auch heute noch in Betrieb sind. Dies lässt auch auf den relativ hohen Bedarf auf Grund des Bevölkerungswachstums in Wien schließen. 1910 erreichte Wien eine Bevölkerungsspitze mit über 2 Millionen Einwohnern (Abbildung 11).

Vereinzelt haben sich auch Beispiele der Solararchitektur durchgesetzt. Jan Duiker plante in seiner Freiluftschule in Cloistraat, Amsterdam 1932 durchgängig Freiflächen als Teil des Klassenkonzepts ein (Abbildung 12). Ziel war es, den Kindern eine licht- und luftdurchflutete Umgebung bieten zu können um ein gesundes Lernen zu ermöglichen und Krankheiten wie Rachitis oder Tuberkulose vorzubeugen. Die Leichtigkeit des Gebäudes

²⁹ www.statistikaustria.at; www.wikipedia.org / Zugriff 08.08.2013

³⁰ www.bmbf.gv.at/schulen/bw/ueberblick/sw_oest.html / Zugriff 15.05.2015

wird durch eine innenliegende Stützenkonstruktion ermöglicht, wodurch eine fast durchgehende Glasfläche an der Außenfront entsteht (Treberspurg 1994).

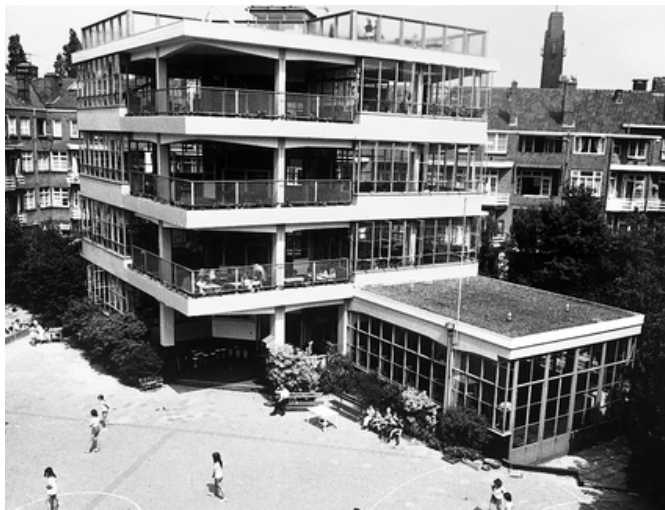


Abbildung 12: Freiluftschule Cloistraat, Amsterdam³¹

In den Jahren der Kriegs- und Zwischenkriegszeit kam es durch die Zerstörung der Bauwerke, durch den geringen Neubau als auch die Knappheit der Unterrichtsmittel zu einer Verringerung der Schulflächen und einer Rückkehr zum ‚Kasernenunterricht‘ (Walden und Borrelbach 2006). Wenige der noch in Betrieb befindlichen Wiener Schulen wurden in dieser Zeit errichtet - siehe Abbildung 7. Vor allem in Deutschland und Österreich wurde die Schule auch zum politischen Auftrag und wurde weniger als Entwicklungsbereich für Kinder und Jugendliche, sondern vielmehr als Ausbildungsstätte für die heranwachsenden Staatsbürger gesehen.

Bis in die siebziger Jahre hat sich stark der Trend in Richtung ‚Lernfabriken‘ etabliert. Die Nachkriegszeit der frühen fünfziger bis späten sechziger Jahre waren eine Zeit des Aufbaus. So erinnern die einfachen Stahlbetonbauten der Schulgebäude an Fabrik- und Werkshallen aus der Nachkriegszeit. Die Varianten in den Typologien sind minimal und letztlich hauptsächlich durch ihre Größe zu unterscheiden. Die Entwicklung ging dabei weg von der Vielzahl an individuellen Schulen und sowohl im urbanen als auch im ländlichen Raum hin zu Großschulen mit einem dementsprechend breiten Einzugsgebiet. In den Neubauten dieser Jahrzehnte war damit nach wie vor die ‚Gangschule‘ vorherrschend. Dieser Typus ist an die ursprünglichen Schulen der Moderne an Klöster und Kasernen angelehnt und forciert damit den geordneten Frontalunterricht.

Der klassische Klassentypus hat sich in dieser Hinsicht demnach in den letzten Jahrhunderten kaum verändert: seitliche Belichtung, orthogonal zur Fensterseite die Tischreihen und Tafel, der Lehrer am vorderen Ende. Alternativen zu diesen klassischen ‚Gangschulen‘ lassen sich jedoch auch schon in der frühen Nachkriegszeit in Österreich feststellen: Die Pavillonschule, Freiluftschule, Atriumschule und Hallenschule wurden in dieser Zeit entwickelt. So beschreibt Lang in (Hoppe, et al. 1996) die Entwicklung der

³¹ www.hetnieuweinstituut.nl/en/ / Zugriff 15.05.2015

‚Hallenschule‘ von den Gangschulen, die um einen Hof gruppiert wurden (Thomas Lauterbach, realisiert 1949 in Wien 21) über die Gangschule mit gedeckter Freiluftklasse (Roland Rainer, realisiert 1949 in Wien 11) bis zur ersten Hallenschule, die 1955 von Viktor Hufnagl in Strobl am Wolfgangsee realisiert wurde. Daran anschließend ist auch die erste Atriumschule, geplant 1961 von Gustav Peichl, ‚an der Krim‘ hervorzuheben. Im innerstädtischen Bereich wurde auch eine Integration von Schulhäusern in die bestehende Stadtstruktur angestrebt, Nehrer führt dazu in (Nehrer 1982) die Polytechnische Schule in Wien 10 (Nehrer + Medek, realisiert 1979), die Ganztagssschule in der Köhlergasse in Wien 18 (Hans Hollein, realisiert 1980) sowie die Schule in der Treustrasse, Wien 20 (Carl Pruscha, realisiert 1988) als gelungene Beispiele an.

Obwohl diese Tendenz als Gegenbewegung zu den Gangschulen gesehen werden kann, setzte sich der klassische Bau-Typus weitgehend durch. Diese Entwicklung wurde auf Grund der nüchternen Qualität dieser Bauten bereits in den späten siebziger Jahren von Architekten kritisch hinterfragt. So beschreibt Kühn in seinem Diskurs zur ‚Rationalisierung und Flexibilität: Schulbaudiskurs der 1960er und -70er Jahre‘ (Böhme 2009) bereits zahlreiche Artikel, die eine grundlegende Reform des Schulbaus fordern. Dabei wird vor allem die Planung sogenannter ‚Mammutschulen‘ mit Schülerzahlen von bis zu 3000 kritisiert, die eine erhöhte ‚Effizienz‘ in der Abwicklung der Unterrichtseinheiten gewährleisten und eine Vielzahl an Fachbereichen in einem Bauwerk unterbringen sollten.

Die Forderung nach erhöhter Qualität im Schulbau, einhergehend mit flexiblen, überschaubaren Einheiten, die den sich ändernden Anforderungen entsprechen, und eine fördernde und fordernde Lernumgebung bereitstellen sollen, ist eminent und erinnert stark an die aktuellen Diskussionen um den Schulbau der Gegenwart. 1962 wurde das österreichische Schulwesen durch ein umfassendes Schulgesetz neu geregelt und die Schulpflicht auf neun Jahre verlängert³².

Die vierte Periode der letzten Jahrzehnte bis zur Gegenwart beschreibt Göhlich in (Böhme 2009) als die Phase der Postmoderne, wobei er diesen Begriff selbst nicht als historische Periode, sondern im Kontext des ‚Medialisierung Sprungs‘ - des gesellschaftlichen und kulturellen medialen Wandels - der letzten Jahrzehnte begreift. Er beschreibt damit auch die Entwicklung hin zum hybriden und interaktiven Raum, der die virtuellen Anforderungen an die Architektur mit den realen in Einklang bringen muss. In den Planungen der letzten zwei Jahrzehnte wurde auch eine Einbindung der eigentlichen Nutzer des Gebäudes (Schüler, Lehrer) als wesentlicher Einflussparameter in die Architektur feststellbar. Rittelmeyer (Rittelmeyer 1994) beschreibt in seinem Diskurs zur Wahrnehmung von Schülern, dass die Bedürfnisse der Schüler erst in den letzten Jahrzehnten wahrgenommen und auch gehört wurden. So soll die Architektur Freiraum zur Mitgestaltung geben, um einerseits die Identifikation mit dem Ort bzw. Bauwerk zu vertiefen und andererseits die Lernumgebung zu schaffen, die den jeweiligen Nutzern angepasst ist.

³² www.bmbf.gv.at/schulen/bw/ueberblick/sw_oest.html / Zugriff 15.05.2015

SCHULTYPEN (AUS PÄDAGOGISCHER SICHT)

Um die Auswirkungen auf die zukünftige Entwicklung des Schulbaus zu verstehen, soll in einem kurzen Abriss auf die aktuelle Entwicklung der ‚pädagogischen Schultypen‘ eingegangen werden. Die ‚baulichen Schultypen‘ werden dabei gesondert in 2.4 beschrieben.

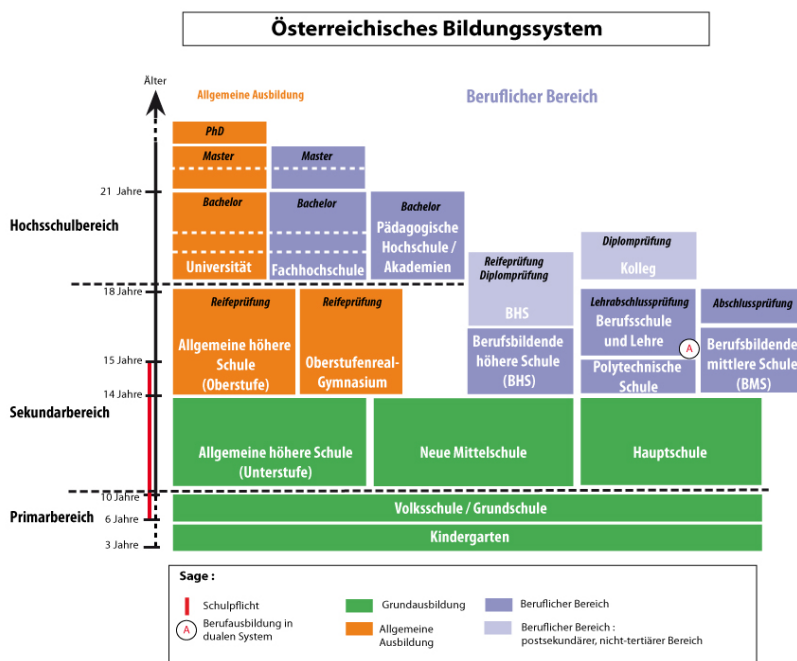


Abbildung 13: das österr. Bildungssystem geteilt nach primärem, sekundärem und tertiärem Sektor³³

Im International Standard Classification of Education (ISCED)³⁴, der von der UNESCO³⁵ zur Klassifizierung und Charakterisierung von Schultypen eingeführt wurde, werden die einzelnen Bildungsniveaus dargestellt und damit im internationalen Kontext vergleichbar gemacht. Die Organisationsformen sind in Österreich einheitlich bundesweit geregelt, auf Landesebene gibt es Konzepte zur Umsetzung (z.B. durch Schulversuche und Bildungsreformen). Die Schultypen sind dabei in den primären (Volksschule und Sonderschulen) und sekundären (Hauptschulen, Allgemeinbildende Höhere Schulen, Neue Mittelschule und Sonderschulen) Bildungsweg eingeteilt. Der tertiäre Bereich wird durch die Universitäten und Hochschulen dargestellt (siehe Abbildung 13).

Auf Grund der überdurchschnittlich guten Bewertungen in den PISA Ergebnissen³⁶ soll hier als Vergleich auch das Finnische System dargestellt werden, welches im Unterschied zum österreichischen System eine gemeinsame *Basic Education* bis zur 9. Schulstufe und damit eine einheitliche Ausbildung aller Schüler bis 16 Jahre vorsieht (Välijärvi 2013) - siehe Abbildung 14.

³³ www.arbeitenundstudieren.at / Zugriff 21.08.2014

³⁴ Der International Standard Classification of Education (ISCED) wurde von der UNESCO zur Klassifizierung und Charakterisierung von Schultypen und Schulsystemen entwickelt. Dabei wird zwischen mehreren Ebenen (*level*) unterschieden. Aus: www.wikipedia.org / Zugriff 15.05.2015

³⁵ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation

³⁶ PISA => Programme for international student assessment; die PISA Studie evaluiert weltweit Schulsysteme, indem 15-jährige Schüler in einheitlichen Tests evaluiert werden; www.oecd.org/pisa/; Zugriff 27.08.2014

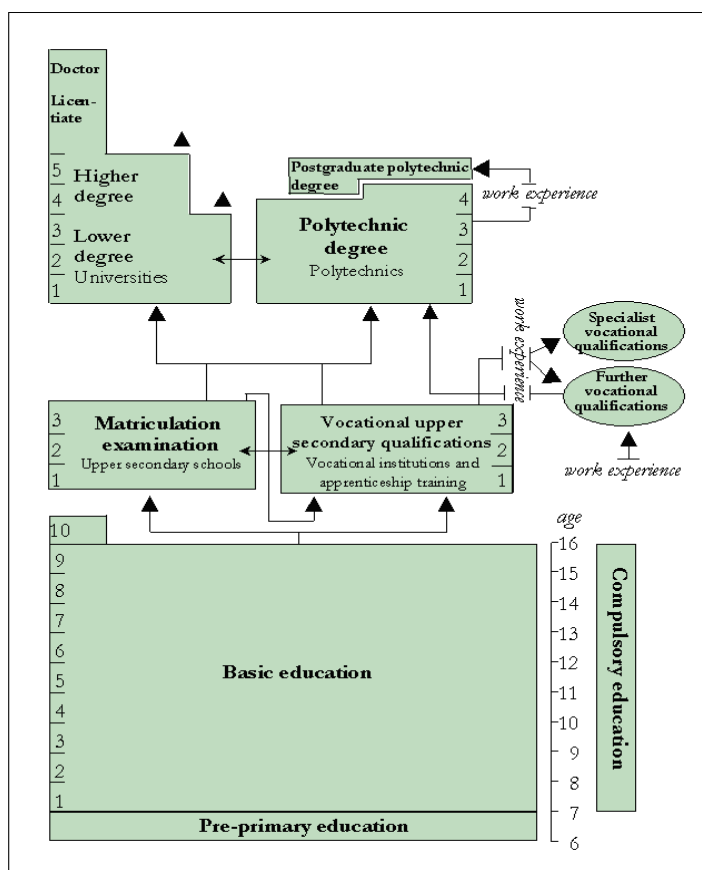


Abbildung 14: Das finnische Schulsystem, Graphik adaptiert nach (Välijärvi 2013)

Die Philosophie des Systems sieht eine Gleichstellung aller Schüler vor, demnach werden sowohl Schüler mit Lernproblemen als auch hochtalentiertere Schüler in heterogenen Klassen gemeinsam unterrichtet. Mit 16 haben damit praktisch alle Schüler (99,7%) die *Comprehensive School* absolviert und gehen dann im sekundären Sektor in getrennte Bereiche der *Secondary Education* (Välijärvi 2013).

Das vielgepriesene finnische Schulsystem ist auch dadurch gekennzeichnet, dass hier nur die ‚Besten‘ Lehrer werden. Der Lehrberuf genießt in Finnland eine sehr hohe gesellschaftliche Wertschätzung. Bei den Kandidaten für die Ausbildung zum Primarlehrer kommen 8500 Bewerbungen auf gerade einmal 750 Plätze. Bei der Ausbildung werden auch hohe Anforderungen im Hinblick auf Forschungsinhalte gesetzt. Umso freier ist der finnische Pädagoge dann aber in der Ausübung seines Berufs: jede Schule erstellt ihr eigenes Curriculum und Lehrer entscheiden selbst, welchen Unterrichtsstoff sie zu welcher Zeit unterrichten. Damit wird viel Freiraum für kreative Ansätze gelassen, was wiederum ein hohes Verantwortungsbewusstsein der Lehrer verlangt.³⁷

In Österreich ist seit 01.09.2012 auch die sogenannte ‚Neue Mittelschule‘ (NMS) als Regelschule festgelegt. Als Schultyp der mittleren Bildung wurde die Neue Mittelschule erstmals im Schuljahr 2008/09 als Schulversuch eingesetzt. Ursprünglich war geplant, vor

³⁷ Die Zeit, Printausgabe vom 05.09.2013 Nr. 37; Schule / Chancen; Interview mit Pasi Sahlberg, Finnisches Bildungsministerium

allein in der Unterstufe der 10 bis 14 jährigen eine Gesamtschule einzuführen, die sowohl Hauptschule (HS) als auch Allgemeinbildende höhere Schule (AHS) vereint und damit ersetzt. Dies folgt dem Trend, Schüler wie in den meisten anderen europäischen Ländern in der Sekundarstufe einheitlich zu unterrichten und erst danach in weiterführenden Schulen zu trennen. Das Konzept sieht vor, dass AHS- und HS-Lehrer gemeinsam in der Klasse ‚Team-Teaching‘ absolvieren. Dies bedingt auch eine gemeinsame Vorbereitung sowie Nachbereitung der Klassen. Erste Ergebnisse des Bundesinstituts Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens (BIFIE) aus den Englischtests der 8.Schulstufe, in der erstmals alle drei Schulformen (HS, NMS, AHS) getrennt ausgewiesen wurden, zeigen jedoch nicht die erwarteten Ergebnisse einer Erhöhung der Standards in der NMS: die Punkte der NMS- Schüler liegen im Schnitt unter dem österreichischen Mittelwert. Sie liegen gleich oder sogar unter denen der HS und weit unter der AHS (Schreiner und Breit 2013).

Zu einem ähnlichen Schluss kommt der Autor und Lehrer Nikolaus Glattauer in seinem Buch ‚Die PISA-Lüge‘. Die PISA Tests seien nicht standardisiert vergleichbar und hätten keine Aussagekraft. Dennoch werden diese von der OECD³⁸ eingeführten Tests als Bewertung für neue Schulmodelle – wie auch die Neue Mittelschule - herangezogen (Glattauer 2011).

Nichtsdestotrotz werden die NMS aufgrund des politischen Willens weiter ausgebaut. Die Klassengrößen sollen dabei mit maximal 25 Schülern und 2 Lehrkräften begrenzt sein und auch Gruppenarbeiten ermöglichen. Dies bedingt eine direkte Auswirkung auf das Raumprogramm: Die meisten der Neuen Mittelschulen sind und werden auch in Zukunft in bestehenden Gebäuden untergebracht, die den neuen räumlichen Anforderungen gerecht werden müssen. Bis zum Schuljahr 2015/16 sollen alle Hauptschulen in Neue Mittelschulen umgewandelt werden. Seit Herbst 2014 gibt es lt. Bundesministerium für Bildung und Frauen (BMBWF) 1073 Standorte für Neue Mittelschulen³⁹.

Im Bereich der Volksschulen gibt die in den letzten Jahren entfachte (politische) Diskussion um das Thema Ganztagschule Anlass, die Anforderungen an die Betreuungssituation zu analysieren. In einer Studie zur Kinderbetreuung in Österreich des österreichischen Instituts zur Familienforschung (Baierl und Kaindl 2011) wird aufgezeigt, dass sich die außerfamiliäre Betreuungszeit⁴⁰ bei Volksschulkindern (6-10 Jährigen) in den letzten 15 Jahren sukzessive erhöht hat. Lag 1995 die Betreuungsquote in außerschulischen Einrichtungen noch bei 7%, ist sie bis zum Jahr 2009 bereits auf 15,4% angestiegen, wobei Wien mit 30,3% in außerschulischer institutioneller Betreuung und 18% in schulischer Nachmittagsbetreuung (ohne Ganztagschulen) die höchsten Werte aufweist. Unterschieden werden dabei drei Formen der Nachmittagsbetreuung: Schulische Nachmittagsbetreuung an ganztägigen Schulen ohne Verschränkung von Unterrichts- und Betreuungszeiten (Tagesheimschule), schulische Nachmittagsbetreuung an ganztägigen Schulen mit Verschränkung von Unterrichts- und Betreuungszeiten (Ganztagschule) und

³⁸ Organisation for Economic Cooperation and Development

³⁹ www.neuemittelschule.at/ Zugriff 15.05.2015

⁴⁰ Bei Schulkindern wendet man Betreuung in diesem Kontext erst ab der Nachmittagsbetreuung an, da sie am Vormittag (außer zu Ferienzeiten) zu 100% im Rahmen des Unterrichts betreut werden

sonstige Betreuungsformen an halbtägigen Schulen. Auf Grund der unterschiedlichen inhaltlichen Ausrichtung der Nachmittagsbetreuung beschreibt die Studie keine eindeutigen Empfehlungen in dieser Hinsicht. Generell wird in Schulen die Nachmittagsbetreuung klar strukturiert (Unterricht/Lernzeit/Freizeit), in Horten ist diese Aufteilung weniger zu finden. Es kommt demnach auf die Einschätzung der Eltern/Schüler an, welche Form am ehestem dem Kind entspricht. Zusammenfassend kommt die Studie u.a. zu dem Schluss, dass die außerfamiliäre Kinderbetreuung in allen Altersgruppen an Bedeutung gewinnt (Baierl und Kaindl 2011).

Bei einer verschränkten Ganztagschule wechseln Unterricht, Lernzeit und Freizeit einander ab. Aktuell wird in Ganztagschulen vor allem eine Nachmittagsbetreuung nach dem Unterricht für jene Kinder angeboten, deren Eltern sie dafür anmelden. Die Regierung hat den Ausbau des Angebots beschlossen. Bis 2018 soll der Anteil von derzeit 18 Prozent auf 30 Prozent steigen. Jährlich gibt es dafür 160 Millionen Euro mehr. Die von Schmied bevorzugte verschränkte Ganztagschule sollte stufenweise ausgebaut werden. *„Man kann mit einer Klasse am Standort beginnen und die Entwicklung dann fortsetzen“*⁴¹, sagt die ehemalige Unterrichtsministerin⁴².

Diese Diskussion gibt auch Anlass die Architektur und räumliche Qualität dieser (neuen) Schulen (in alten Häusern) zu überdenken. Wie auch bei dem Modell der Neuen Mittelschule, welches sich dem Raum der (alten) Hauptschulen bedienen muss, um flächendeckend eingeführt werden zu können, werden die zukünftigen Ganztagschulen ebenso nicht nur auf Neubauten zugreifen können.

Die erhöhte zeitliche Nutzung des Schulbaus bedingt jedenfalls einen erhöhten Raumbedarf, vor allem aber neue architektonische Konzepte für die Bestandsbauten. Opp beschreibt dabei in (Opp 2010), dass diese Umgestaltung nicht nur additiv, sondern vor allem integrativ erfolgen muss (siehe Tabelle 1).

Vergleich zwischen additivem und integrativem Ganztagsangebot in Schulen

ADDITIVES MODELL	INTEGRATIVES MODELL
Herkömmliche Halbtagschule mit Mittagessen und fakultativer Nachmittagsbetreuung	Ganztagsklassen mit rhythmisiertem Lernen und neuer Lernkultur
Inhaltliche, zeitliche und personelle Trennung von Schul- und Sozialpädagogik	Inhaltliche, zeitliche und personelle Vernetzung von Schul- und Sozialpädagogik
Wechselnde Sozialverbände und verschiedene Verantwortungseinheiten zwischen Vormittag und Nachmittag	Gleicher Sozialverband / gleiche Verantwortungseinheit am Vormittag und Nachmittag
Unterschiedliche Förderung von Halbtags-	Förderung der Sozialkompetenz aller Kinder

⁴¹ ‚Standard‘ Artikel vom 20.08.2013

⁴² Claudia Schmid war von 2007 bis 2013 Ministerin für Unterricht, Kunst und Kultur in Österreich

und Ganztagschülern	einer Klasse
Räumliche Trennung: Lernraum und Lebensraum; alte, kleine Unterrichtsräume neben neu und kindgemäß ausgestatteten Betreuungsräumen	Räumliche Integration von Lernraum und Lebensraum, wohnlich eingerichtete Lernräume verbunden mit multifunktionalen, kindgemäß ausgestatteten Nebenräumen
Hoher Raum- und Möbelbedarf durch Funktionstrennung und zeitlich geringer Nutzung	Begrenzter Mehrbedarf an Räumen und Möbeln bei einer zeitlich gegliederten multifunktionalen Raumnutzung
Mindestens ein zusätzlicher Raum / Betreuungsgruppe ohne Verbesserung der Lernraumqualität	Etwa ein halber zusätzlicher Raum / Klasse mit deutlicher Verbesserung der Lernraumqualität
Geringer Veränderungsbedarf am Konzept der Halbtagsschule bzw. des Hortes, geringer Kooperationsbedarf zwischen Lehrern und Erziehern	Grundlegender Veränderungsbedarf am curricularen und pädagogischen Konzept der Schule, hoher Kooperationsbedarf zwischen Lehrern und Erziehern
Alte Arbeitszeit- und Arbeitsraum- Konzepte möglich	Neue Arbeitszeit- und Arbeitsraum- Konzepte erforderlich
Relativ geringer pädagogischer und architektonischer Planungsaufwand	Hoher pädagogischer und architektonischer Planungsaufwand
RISIKO => Kontraproduktive Kluft zwischen Lern- und Freizeitwelt, unattraktives Modell für bildungsinteressierte Eltern	RISIKO => Überlastung von Schulleitung und Lehrpersonal durch kumulierende Reformansprüche bei qualitativ und quantitativ unzureichender Personalausstattung
FAZIT => nahe liegende und verbreitete Standardlösung mit bescheidenem Bildungswert / Übergangslösung für kleine Schülerzahlen / relativ hohe Investitionskosten pro Schüler	FAZIT => international konkurrenzfähiges Bildungskonzept / Zukunftsmodell für große Schülerzahlen / relativ niedrige Investitionskosten pro Schüler

Tabelle 1: Vergleich zwischen additivem und integrativem Ganztagsangebot in Schulen nach (Opp 2010)

In Wien werden für den Unterricht und die Betreuung am Nachmittag lt. Wiener Stadtschulrat die folgenden drei Modelle eingesetzt: Ganztagschule, Offene Schule und Modell Campus. In Ganztagschulen besteht der Betreuungsteil aus der Lernzeit, dem Mittagessen und der Freizeit und kann bis 17.30 angeboten werden. Der Unterrichtsteil und der Betreuungsteil können in getrennter oder verschränkter Abfolge geführt werden. Das Modell Offene Schule sieht vor, dass der Unterrichtsteil und der Betreuungsteil in getrennter Abfolge durchgeführt werden. Im Anschluss an den Unterricht wechseln die Schüler in die Nachmittagsbetreuung (privat oder durch Schulanbieter). Im Modell Campus

wird insofern von der Ganztagschule differenziert, als ein besonderer Fokus auf musikalische und sportliche Schwerpunkte im Rahmen der Nachmittagsbetreuung gelegt wird. Zudem findet eine Vernetzung mit im Gebäude eingebetteten Kindergärten statt⁴³.

Die Auswirkungen dieser Entwicklungen auf das Architektur und Raumprogramm der Wiener Volks- und Hauptschulen können damit wie folgt zusammengefasst werden:

Der größte Anteil der Neuen Mittelschulen wird in den jetzigen Hauptschulgebäuden untergebracht werden. Durch die verringerte Schülerzahl und die veränderte didaktische Vorgehensweise (z.B. 2 statt 1 Lehrer) werden sowohl die Klassengrößen als auch die Flexibilität und Raumteilung der Klassenräume in Zukunft geändert werden müssen.

Der Trend zur Ganztagschule in den Volksschulen, in denen Unterricht und Freizeit idealerweise nicht additiv, sondern integrativ gelebt werden sollen, bedingt nicht nur eine Umgestaltung herkömmlicher Raummodelle, sondern auch einen erhöhten Raumbedarf (Opp 2010) - siehe auch Tabelle 1.

⁴³ www.wien.gv.at/bildung/schulen/schulbau/campus/ Zugriff 15.05.2015

2.2. Politische und institutionelle Rahmenbedingungen

Im Folgenden werden die politischen und institutionellen Rahmenbedingungen, die die Sanierung und weitere Entwicklung von Schulgebäuden maßgeblich beeinflussen, zusammengefasst. In den **Barrieren** werden sowohl hinderliche Faktoren zur Sanierung des europäischen Gebäudebestands beschrieben, als auch spezifische Faktoren, die umfassende Sanierungen der Wiener Schulen behindern. Die **Zuständigkeiten** zeigen das komplexe Konstrukt der Verwaltung im Bereich der Schulen. Im Abschnitt **Regulative** sind die wesentlichen legislativen Rahmenbedingungen angeführt. Die **Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme** sollen Alternativen aufzeigen, um umfassende Schulsanierungen - auch unter engen budgetären Voraussetzungen - umzusetzen. Am Ende des Abschnitts werden das **Schulsanierungspaket der Stadt Wien** und die zugehörigen Maßnahmen beschrieben.

Das Buildings Performance Institute Europe (BPIE) hat in einer 2011 veröffentlichten Studie der europäischen Gebäudestandards verschiedene Szenarien zur Sanierung des Gebäudebestands analysiert. Das BPIE sieht dabei vor, alle Gebäude bis 2050 zu sanieren, was einer Sanierungsrate von 2,5% pro Jahr entspricht. Die Variablen der Szenarios beziehen sich dabei auf die Sanierungsrate (in % pro Jahr), Intensität der Sanierung (*minor, moderate, deep, two stage*⁴⁴ und *ZEB*⁴⁵) und den Kosten, die mit der Intensität variieren. Das Ergebnis der Studie zeigt, dass nur mit den Szenarien der *deep renovation* und der *two stage renovation* (dies sieht eine moderate Steigerung der Sanierungsrate bis 2030 und ein intensive Steigerung von 2030 bis 2050 vor) die CO₂-Reduktions-Ziele der European Commission (EC) erreicht werden können. Damit könnten bis 2050 68% (*deep renovation*) und 71% (*two stage renovation*) Sanierungsraten erzielt werden. (Economidou 2011).

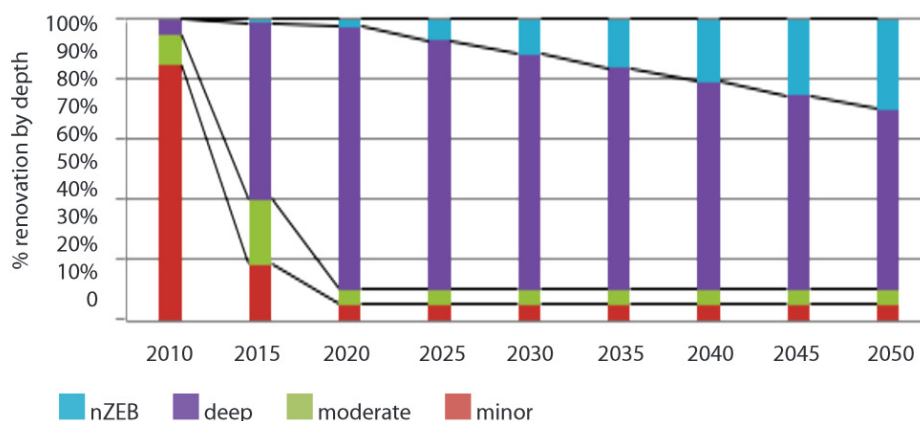


Abbildung 15: Erforderliche Erhöhung der Sanierungsintensität, um 90% CO₂-Einsparung zu erreichen (Staniaszek 2013)

⁴⁴ minor = geringfügig; moderate = moderat; deep =intensiv; two stage = zweistufig (sinngemäße Übersetzung)

⁴⁵ nZEB = Nearly Zero Energy Building lt. Annex 1 des EPBD recast

Um 90% CO₂-Einsparung (vgl. 2010) zu erreichen muss sowohl die Intensität der Sanierung als auch die Sanierungsrate ansteigen, wie in Abbildung 15 dargestellt.

Um diese Szenarien in die Umsetzung zu bringen, müssen jedoch eine Reihe von Barrieren beseitigt werden. Das BPIE definiert in der ‚Studie zur Entwicklung von Sanierungsstrategien‘ unter anderem drei wesentliche Faktoren, um die Energieeffizienz im Gebäudebestand in der EU nachhaltig zu erhöhen:

- *Sets out long term framework to 2050 for the renovation of the nation’s building stock to very high energy performance levels*⁴⁶
- *Mobilizes building owners, whether individuals, corporate entities, public sector or real estate portfolio holders, to undertake deep renovation of their buildings*⁴⁷
- *Mobilizes the investment community to develop financial products and vehicles to fund the program of building renovation and upgrades*⁴⁸ (Staniaszek 2013)

BARRIEREN

Das BPIE beschreibt vier verschiedene Arten von Barrieren, die in dem Kontext der Sanierung des europäischen Gebäudebestands im Rahmen der Studie ‚Europe’s Building under the Microscope‘ identifiziert wurden (Abbildung 16).

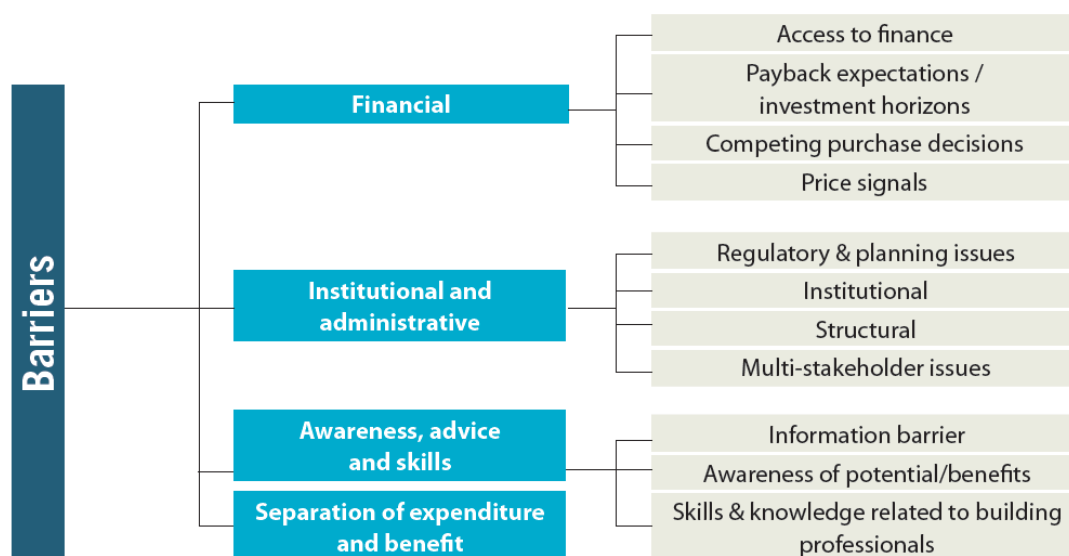


Abbildung 16: Klassifizierung der Barrieren, die im Rahmen der BPIE Studie ‚Europe’s Building under the Microscope‘ identifiziert wurden (Economidou 2011)

⁴⁶ Definiert langfristige Rahmenbedingungen bis 2050 für die Sanierung des nationalen Gebäudebestands auf einem sehr hohen Energieeffizienz-Niveau

⁴⁷ Mobilisiert Gebäudeeigentümer (Privatpersonen, Firmen, öffentlichen Sektor oder Gebäude-Portfolio Eigentümer) um intensive Sanierungen ihrer Gebäude vorzunehmen

⁴⁸ Mobilisiert den Investitionssektor um Finanzprodukte und Mechanismen zu entwickeln um Programme von Gebäudesanierungen und Verbesserungen zu finanzieren

Die Studie unterscheidet finanzielle, institutionelle und bewusstseinsbildende Barrieren sowie Barrieren, die sich durch den Investor / Nutzer Konflikt ergeben.

Ein ähnliches Bild ergibt sich im Detail für den österreichischen Schulbau: Schulgebäude haben nicht nur eine besondere Funktion hinsichtlich ihrer sozio-ökonomischen und architektonischen Anforderungen. Sie stellen auch als Gebäude eine besondere Vorbildfunktion dar. Damit hat die öffentliche Hand als Eigentümerin der Schulgebäude die Chance und Herausforderung, die aktuellen Bauten hinsichtlich ihrer Wissensvermittlung im Hinblick auf einen effizienten Umgang mit Ressourcen zu nutzen.

Die aufwändige Verwaltung mit ihren aufgesplitterten Kompetenzen sowie knappe finanzielle Mittel stellen bei der Sanierung des Gebäudebestands dabei jedoch signifikante Barrieren dar. Eine Analyse im Rahmen des Projekts SchulRen+ (Dubisch, et al. 2012) hinsichtlich Barrieren und Verbesserungsmaßnahmen bezüglich der spezifischen Rahmenbedingungen zu Sanierungen im Wiener Schulbau ergab vor allem Handlungsbedarf in drei Themenfeldern:

- Zuständigkeiten
- Regulative
- Finanzierungsmodelle

Die einzelnen Punkte wurden im Hinblick auf die Umsetzung des Forschungsprojekts in ein Bauprojekt⁴⁹ identifiziert. Die Verbesserungsvorschläge wurden mit externen Experten in Workshops erarbeitet. Aus den Ergebnissen des Projekts lassen sich folgende Barrieren bzw. Verbesserungsansätze in Bezug zur Umsetzung von energetisch optimierten Sanierungsvorhaben ableiten (Dubisch, et al. 2012) - siehe Tabelle 2.

Barrieren und Verbesserungsansätze zur Umsetzung von energetisch optimierten Sanierungsvorhaben in Schulen der Stadt Wien

BARRIEREN	THEMENFELD	VERBESSERUNGEN
Vergabekriterien / Bundesgesetz	Regulative	Einführung verpflichtender energetischer Aspekte in der Sanierung von Schulbauten Leitbild: Plus-Energie-Schule (siehe Abschnitt 2.3 / Leitbilder)
Maximalbetrag EUR/m ² Errichtungskosten als Vorgabe für Wirtschaftlichkeitsberechnungen	Regulative + Finanzierungsmodelle	Einführung einer verpflichtenden Lebenszykluskosten-Bewertung im Bereich öffentlicher Bauten Verteilung der Maßnahmen auf kombinierbare Module, die sukzessive umgesetzt werden können Ampelsystem für die Beurteilung von

⁴⁹ Ziel des Forschungsprojekts SchulRen+ war eine Studie zur Plus-Energie Sanierung von Schulbauten an Hand eines konkreten Beispiels; die Ergebnisse hätten in weiterer Folge in ein konkretes Bauprojekt einfließen sollen. Dies ist aber auf Grund zahlreicher institutioneller Barrieren (wie auch in diesem Kapitel beschrieben) nicht zustande gekommen

		<p>Maßnahmen bzw. Modulen</p> <p>Synergien nutzen: Brandschutz / Barrierefreies Bauen / Energie / Neue Raumkonzepte für neue Schultypen</p>
<p>Errichtung und Sanierung: Zuständigkeit der MA56; Budgetkosten aus dem Zentralbudget der Stadt Wien und Verteilung auf Schulen auf Bezirksbasis; Bezirke haben Mitspracherecht (Zentralisierung und Dezentralisierung in einem System)</p>	Zuständigkeiten	Zentrale Verwaltung aller Errichtungs- und Sanierungsbudgets
<p>Betrieb: Bezirke zahlen Energiekosten</p>	Zuständigkeiten + Finanzierungsmodelle	Zentrale Verwaltung der Betriebskosten (inkl. Energiekosten) mit dem Ziel den aktuellen Investor / Nutzer-Konflikt zu vermeiden
<p>Abrechnung: der Bezirk zahlt eine Rechnung für alle Schulen gemeinsam</p>	Zuständigkeiten	Fernauslesung von Energiedaten mit detaillierter Aufschlüsselung auf Schulbasis
<p>Mögliche Probleme im Zuge der Abrechnung: Nachzahlung Strom; MA56 stellt Erhöhungsantrag an den Bezirk</p>	Zuständigkeiten	Zentrale Verwaltung der Betriebskosten (siehe oben)
<p>Contracting: die 10 jährige Laufzeit hat sich nicht bewährt, demzufolge wurde die Laufzeit bereits auf 15 Jahre erhöht (siehe auch Abschnitt Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme)</p>	Finanzierungsmodelle	Laufzeit des Contracting erhöhen; Einführung neuer Finanzierungsmodelle
<p>Haustechnikfirmen sind den Anforderungen teilweise nicht gewachsen</p>	Regulative	Verpflichtenden Zertifizierungen für anbietende Firmen (z.B. im Bereich erneuerbarer Energiesysteme, Regelungstechnik und effizienter Haustechniksysteme)

Tabelle 2: Barrieren und Verbesserungsansätze zur Umsetzung von energetisch optimierten Sanierungsvorhaben in Schulen der Stadt Wien; Erweitert nach (Dubisch, et al. 2012)

Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen hinsichtlich politischer und verwaltungstechnischer Zuständigkeiten, die Regulative, Normen und Richtlinien sowie Finanzierungsmodelle, die im Bereich der Schulsanierung zur Anwendung kommen können, skizziert. Nachdem der Fokus der Arbeit auf Schulsanierungen in Wien liegt, werden in einem eigenen Abschnitt die Maßnahmen des Schulsanierungspakets der Stadt Wien dargestellt, da diese auch die Grundlage für eine weiterführende und umfassendere Sanierung bieten. Die in diesem Abschnitt angeführten Rahmenbedingungen fokussieren auf die Sanierung des Schulbestands in Wien. Im Folgenden werden jedoch auch internationale Beispiele, die eine Verbesserung der qualitativen und energetischen Aspekte der Schulsanierung zur Folge hatten, angeführt.

ZUSTÄNDIGKEITEN

Die Schulverwaltung in Österreich und damit die Zuständigkeiten für Sanierungsvorhaben sind in einem komplexen Konstrukt von Bund, Ländern, Gemeinden und Bezirken aufgeteilt. Die damit einhergehenden Zuständigkeiten für Investitionskosten und Betriebskosten sind in verschiedenen Verwaltungseinheiten angesiedelt. Im energetischen Kontext ist es zu befürworten, wenn der Investor eines Bauvorhabens zugleich auch den Nutzer darstellt, damit die getätigten (und möglichen Mehr-) Investitionen im Bereich der Energieeffizienz dem Nutzer eine Rendite (*return of investment*) bringen. Im österreichischen Schulbau ist das aktuelle Konstrukt welches den Schul-Errichter, Schul-Erhalter und Schul-Nutzer entkoppelt, einem Investor-Nutzer gleichzusetzen. Im Folgenden werden die aktuellen Strukturen sowie Lösungsansätze im Hinblick auf Bauprojekte im Schulwesen erläutert.

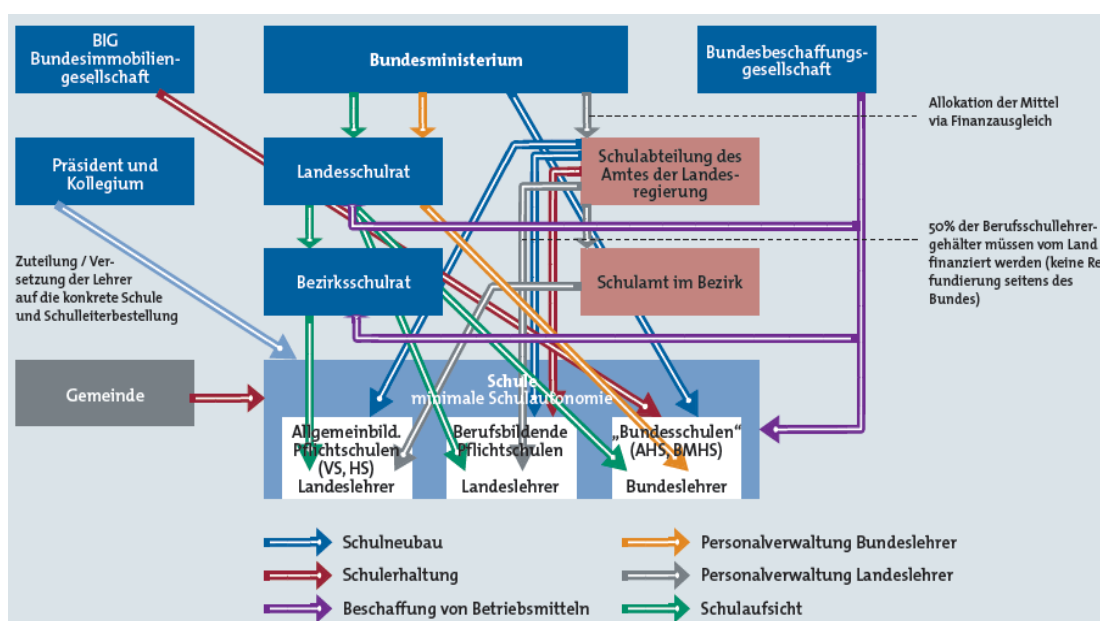


Abbildung 17: Schaubild zur aktuellen Schulverwaltung in Österreich, vereinfachte Darstellung (Schmid, Ascher und Mayr 2009)

Schmid beschreibt in der Studie ‚Reformpunkte zum österreichischen Schul-Governance-System (Schmid, Ascher und Mayr 2009), dass diese zersplitterte Kompetenzverteilung von zahlreichen wissenschaftlichen Studien, der Aufgabenreformkommission und dem Rechnungshof kritisiert wird. Die (vereinfachte) Darstellung (Abbildung 17) zur aktuellen Schulentwicklung stellt anschaulich die hoch komplexe Kompetenzverteilung dar. Hervorzuheben sind dabei die unterschiedlichen Zuständigkeiten von Schulneubau, Schulerhaltung, Beschaffung von Betriebsmitteln und Schulaufsicht.

Die Arbeitsgruppe ‚Verwaltung Neu‘, deren Teilnehmer sich aus Experten von WIFO (Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung), IHS (Institut für höhere Studien), KDZ (Zentrum für Verwaltungsforschung) und dem Rechnungshof zusammensetzte, entwickelte Lösungsvorschläge zur Verwaltungsreform in der Schulverwaltung, deren Umsetzung auch für die Errichtung und Sanierung maßgebliche, positive Veränderungen bringen würden. In dem Bericht der Arbeitsgruppe (Rechnungshof 2009) werden die Zuständigkeiten zur Errichtung und Erhaltung dargestellt, siehe Abbildung 18.

ORGANE DER SCHULVERWALTUNG										
	Allgemeinbildende Schulen			Berufsbildende Schulen			Land- und Forstwirtschaftliche Schulen			
	Pflichtschulen		Höhere Schulen	Pflichtschulen	Mittlere Schulen	Höhere Schulen	Pflichtschulen	Mittlere Schulen		Höhere Schulen
	VS, HS, SS	PS	AHS	BS	HaSch, FS	HTL, HAK, TGM	BS	LW	FW	LuF
Aufbau der Schule	Schule									
Organisation der Schule	Schule									
Errichtung der Schule	Schulerhalter; Anhörung LSR; Bewilligung der LReg		LSR/BMUJK	Amt der LReg / in Stmk und Tirol ist der Berufsschulbeirat zu hören	LSR/BMUJK		Amt der LReg / der LuF Schulbeirat ist zu hören		BMLFUW	
Erhaltung der Schule	Bürgermeister/Gemeinderat/ Obmann des Schulgemeindevorstandes		LSR/BMUJK	Amt der LReg	LSR/BMUJK		Amt der LReg		BMLFUW	
Auflassung der Schule	Schulerhalter; Anhörung LSR; Bewilligung der LReg		LSR/BMUJK	Amt der LReg / in Stmk und Tirol ist der Berufsschulbeirat zu hören	LSR/BMUJK		Amt der LReg / der LuF Schulbeirat ist zu hören		BMLFUW	
Einteilung der Schulsprengele	Amt der LReg		Es gibt keine	Amt der LReg	Es gibt keine		Amt der LReg	Es gibt keine		
Festlegung der Klassenschülerzahlen	Schule									
Unterrichtszeit	Schule									

Abbildung 18: Organe der Schulverwaltung (Ausschnitt) (Rechnungshof 2009)

Bei den Pflichtschulen ist zwar der Erhalter rein formal auch der Errichter bzw. durch Bezirksämter oder Magistrate in die Errichtung involviert. Durch die Zersplitterung von Kompetenzen zwischen Verwaltungseinheiten und Zuordnung von Errichtungskosten und Erhaltungskosten zu unterschiedlichen Budgets kommt es, ähnlich dem Investor-Nutzer-Konflikt, zu suboptimalen Lösungen.

Die Verwaltungsstruktur hinsichtlich Errichter / Erhalter / Nutzer lässt sich am Beispiel Wien wie folgt zusammenfassen:

Die städtischen Kindergärten und die allgemeinbildenden Pflichtschulen im Sinne des Wiener Schulgesetzes (Volksschulen, Hauptschulen, Kooperative Mittelschulen, Polytechnische Schulen) mit Ausnahme der Sonderschulen für körperbehinderte, schwerhörige, sehbehinderte und schwerstbehinderte Kinder, sind dezentralisiert. Neubauten von Kindergärten und Schulen werden trotzdem aus dem Zentralbudget

gedeckt und belasten die Bezirksbudgets in der Investitionsphase nicht. Sie sind jedoch in der Betriebsphase von den Investitionsentscheidungen betroffen, da die Erhaltungskosten und damit die Energiekosten in die Verantwortung der Bezirke fallen.

So wird das Zentralbudget von der Stadt Wien verwaltet, die Erhaltung der Schulen jedoch im Bezirksbudget abgebildet (Dubisch, et al. 2012). Die folgende Tabelle 3 liefert einen Überblick der Zuständigkeiten aller in einem Bauprojekt involvierten Ämter.

Aufgliederung der Schulverwaltung in Wien mit Hinblick auf Relevanz zur Errichtung, Erhaltung und Sanierung

VERWALTUNG	ZUSTÄNDIGKEITEN
<p>MA 56 Wiener Schulen</p>	<p>Die Gemeinde Wien ist Schulerhalterin der rund 400 öffentlichen Wiener Pflichtschulen und von drei Fachschulen. Diese Funktion wird durch die Abteilung Wiener Schulen (MA56) wahrgenommen. Aufgaben: Errichtung, Erhaltung, Modernisierung und Verwaltung aller öffentlichen Wiener Volks-, Haupt- und Sonderschulen, Polytechnischen Schulen sowie Berufsschulen.</p> <p>Projektrelevante Aufgabenschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erstellung von Budgetvorschlägen an die Bezirke - Die Vermietung von Räumen und Freiflächen für Zwecke der Erwachsenenbildung, der Kinder- und Jugendbetreuung und des Sports - Umsetzung des Schulsanierungspaketes 2008 bis 2017 (SUSA) - Rolle des Bauherrn: Setzen der obersten Projektziele (Definition des Vorhabens in inhaltlicher, qualitativer, terminlicher und kostenmäßiger Hinsicht); Veranlassung der Planung; Bereitstellung von Grund und Boden; Bereitstellung der finanziellen Mittel; Einholung der erforderlichen Genehmigungen; oberste Kontrolle und Entscheidung der obersten Ziele; Mitwirkung bei Übernahmen und Schlussfeststellungen
<p>MA 34 Bau- und Gebäude- management</p>	<p>Die MA34 arbeitet für die verschiedensten Dienststellen der Stadt Wien und betreut zahlreiche Objekte der Stadt wie das Rathaus, Amtshäuser, Schulen, Kindergärten, Feuerwachen, Büchereien, Märkte und Betriebsobjekte in Parkanlagen. Die Gebäudebewirtschaftung erfolgt nach den Ansätzen des Facility Managements in kaufmännischen, technischen und infrastrukturellen Bereichen. Ziel: Verbesserung der Gebäudebewirtschaftung der Stadt Wien.</p> <p>Projektrelevante Aufgabenschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Koordination der Sanierung im Auftrag der MA56 - Ausschreibung - Örtliche Bauaufsicht

MA 37 Baupolizei	Die Baupolizei (MA 37) bewilligt und überwacht Bauvorhaben.
MA 19 Architektur und Stadtgestaltung	<p>Projektrelevante Aufgabenschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gutachten zur Stadtbildverträglichkeit im Rahmen von Bewilligungsverfahren
Bezirk	<p>Die Gemeinde Wien überträgt besonders bezirksorientierte Aufgaben den Bezirken. Diese Aufgaben sind in der Wiener Stadtverfassung aufgezählt. Das volle Entscheidungsrecht inklusive Budget-Zuständigkeit liegt dabei bei den Bezirksorganen.</p> <p>Eigenzuständigkeit bedeutet, dass der Bezirk für die ihm übertragenen Aufgaben die Budgetmittel der Verwaltung der Stadt Wien zur Verfügung stellen muss. Dadurch kann der Bezirk bestimmen, welche Maßnahmen wann gesetzt werden. Für die Beantragung der Mittel und die Umsetzung der Maßnahmen sind ausschließlich die Fachdienststellen des Magistrats der Stadt Wien zuständig. Die für die Erfüllung dieser Aufgaben notwendigen Finanzmittel werden den Bezirken vom Gemeinderat zur Verfügung gestellt.</p> <p>Zur Durchführung einer konkreten Aufgabe beantragt der Magistrat jeweils Geldmittel beim Bezirk. Das zuständige Bezirksorgan führt die Genehmigung durch.</p> <p>In budgetärer Eigenverantwortung der Bezirke liegen u.a. (laut § 103 Absatz 1 der Wiener Stadtverfassung) folgende Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kindergärten (Kindertagesheime) und Schulen - Außerschulische Kinder- und Jugendbetreuung - Kulturbereich - Musikschulen - Vergabe von Aufträgen für bauliche und gestalterische Projekte <p>Die dezentralisierten Aufgaben betreffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - alle Erhaltungsarbeiten an und in den Gebäuden sowie im Bereich der zu den Kindergärten und Schulen gehörenden Grünanlagen, einschließlich Zaunanlagen und Spielgeräten, - Einbau von Zentralheizungen, Herstellung von Fernwärmeanschlüssen - die Instandhaltung der Fernmeldeanlagen (zum Beispiel Telefonanschlüsse, Haustelefonanlagen, Alarmanlagen), - die Betriebs- und Wartungskosten wie zum Beispiel für Fensterreinigung, Rauchfangkehrer, winterliche Gehsteigbetreuung, Schädlingsbekämpfung, Kosten für Sicherheitsmaßnahmen (wie der Aufwand für Feuerlöscher und

- Brandschutzpläne) und Energiekosten
- die Anschaffung von Einrichtungsgegenständen (inklusive Spielzeug und Sportgeräte) und Reinigungsgeräten für die Kindergärten und Schulen, ausgenommen die Erstausrüstung bei Neu- und Zubauten.

Tabelle 3: Aufgliederung der Schulverwaltung in Wien mit Hinblick auf Relevanz zur Errichtung, Erhaltung und Sanierung⁵⁰ (Dubisch, et al. 2012)

Allein bei der Projektorganisation eines Neubaus oder der Sanierung einer Wiener Schule sind MA56 als Bauherr, MA34 als Bauwerber, Auftraggeber, Leiter der Projektabwicklung und örtliche Bauaufsicht und MA19 als zusätzlicher Auftraggeber im Projektteam vertreten (MA34 2013).

Eine Verwaltungsreform in diesem Bereich hätte in vielerlei Hinsicht eine erhöhte Qualität im Schulbau zur Folge: eine Priorisierung eines gesamten Portfolios ist effizienter und nachhaltiger als Interessen einzelner Standorte zu vertreten. Geier beschreibt dazu in (Geier, Van Praet, et al. 2012), dass Renovierungen von Schulgebäuden generell auf Basis einer Gesamtsicht analysiert werden sollten und stellt dabei die Priorität (Notwendigkeit und Dringlichkeit) dem Potential (Standort, leichte Adaptier- und Renovierbarkeit) gegenüber. Die langfristige Perspektive des Potentials der Schule steht dabei im Vordergrund. Grundlegend werden in der Studie vier Sanierungstypen im Gesamtkontext des Portfolios einer Gemeinde bzw. Stadt wie folgt unterschieden (siehe Tabelle 4 und Abbildung 19):

Beschreibung der Renovierungstypen in der Potentialanalyse-Prioritäten-Matrix

RENOVIERUNGSTYP	POTENTIAL / PRIORITÄT	BESCHREIBUNG
Renovierungs-Typ A	Hoch / Hoch	Schulgebäude mit einem hohen Potential auf Grund ihres Standorts und ihrer Baustruktur und einer hohen Priorität auf Grund des hohen Bedarfs nach einer Änderung des Schulbetriebs (z.B. neue Schulformen) und einer schlechten Bausubstanz.
Renovierungs-Typ B	Hoch / Niedrig	Schulgebäude mit einem hohen Potential auf Grund ihres Standorts und ihrer Baustruktur, aber einer niedrigen Priorität auf Grund des geringen Bedarfs nach einer Änderung des Schulbetriebs (z.B. neue Schulformen) und / oder einer schlechten Bausubstanz. => Diese Schule könnte entweder für einen anderen Schulbetrieb (andere Schulformen) genutzt werden oder es wird nichts geändert.

⁵⁰ Aus www.wien.gv.at und Informationen die von Mitarbeitern der MA34 und MA56 im Projektverlauf SchulRen+ zur Verfügung gestellt wurden

Renovierungs-Typ C	Niedrig / Hoch	Schulgebäude mit einem niedrigen Potential auf Grund ihres Standorts und / oder ihrer Baustruktur, aber einer hohen Priorität auf Grund des hohen Bedarfs nach einer Änderung des Schulbetriebs (z.B. neue Schulformen) und / oder einer schlechten Bausubstanz. => Dies könnte bedeuten, dass entweder der Standort der Schule geändert werden sollte oder die Schule am gleichen Bauplatz erweitert werden sollte (sofern der Bauplatz dies zulässt).
Renovierungs-Typ D	Niedrig / Niedrig	Schulgebäude mit einem niedrigen Potential auf Grund ihres Standorts und / oder ihrer Baustruktur und einer niedrigen Priorität auf Grund des Bedarfs nach einer Änderung des Schulbetriebs (z.B. neue Schulformen) => Das Gebäude könnte möglicherweise anderwärtig genutzt oder veräußert werden.

Tabelle 4: Beschreibung der Renovierungstypen in der Potentialanalyse-Prioritäten-Matrix, übersetzt und adaptiert nach (Geier, Van Praet, et al. 2012)

Durch die Potential- bzw. Prioritätenanalyse kann das gesamte Portfolio strukturiert werden. Damit werden Einzelinteressen (z.B. im Fall der Stadt Wien die Einzelinteressen der Bezirke) in den Hintergrund gedrängt. Womit im Rahmen einer Gesamtanalyse der Gebäudebestand nachhaltig für die Zukunft gestaltet werden kann.

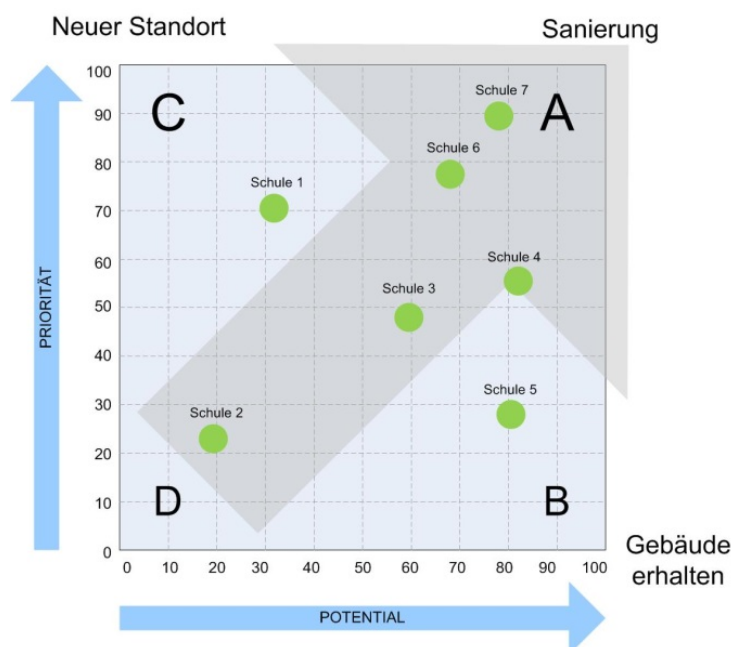


Abbildung 19: Potentialanalyse-Prioritäten-Matrix als Unterstützung im Entscheidungsprozess innerhalb eines Gebäudeportfolios; nach (Geier, Van Praet, et al. 2012)

Eine ganzheitliche Betrachtung des Portfolios der Schulen Stadt Wien würde jedoch eine Verwaltungsreform voraussetzen: erst die Zusammenfassung der Zuständigkeit für die Errichtung, Betrieb und Erhaltung macht eine effiziente Sichtweise möglich. Dies schafft wiederum die Voraussetzung für eine gebündelte Steuerung der finanziellen und administrativen Ressourcen im Bereich der Schulsanierung.

REGULATIVE

Die Planung und Sanierung von Schulen ist in ein enges Korsett von Richtlinien und Normen gesetzt, die in Tabelle 5 auszugsweise beschrieben werden. Der Volltext kann den in den Quellenangaben zitierten Dokumenten entnommen werden. Aus den jeweiligen Bereichen werden vor allem jene Stellen hervorgehoben, die den Themenfeldern Energieeffizienz, erneuerbare Energie und Raumprogramm im Kontext der energetischen Sanierung zuzuordnen sind.

Diese Richtlinien gelten speziell für den Schulbau und sind zusätzlich zu den aktuellen Bauordnungen und den baurelevanten Normen zu beachten. Die einschlägigen für Neubau und Sanierung allgemeingültigen Normen bzw. Richtlinien, die in diesem Kontext zur Anwendung kommen (z.B. ÖNORM B8110-1⁵¹ und OIB Richtlinie 6⁵²), werden hier nicht zitiert. Andere, speziell für den Schulbau gültige Normen können der ÖISS⁵³-Richtlinien für den Schulbau (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012) entnommen werden.

Normen und Richtlinien für den Neubau und die Sanierung österreichischer Schulen (in Auszügen)

RICHTLINIE / NORM	BESCHREIBUNG (AUSZUG)
Raumbuch für Schulen der Stadt Wien (MA34 2013)	Das Raumbuch ist ein Pflichtenheft, das sehr detaillierte Richtlinien für die Planung, Errichtung und umfassende Sanierung von Schulbauten der Stadt Wien enthält. Es verweist auf einschlägige technische Normen und Richtlinien sowie auf die ÖISS-Richtlinie Ökologische Kriterien im Schulbau. Gemäß Erlass MDA-1207-1/03, Berücksichtigung der Umweltgerechtigkeit bei der Beschreibung der Leistung in Ausschreibungen, sind die Richtlinien bzw. Kriterienkataloge aus dem Programm ÖkoKauf der Stadt Wien zu beachten. Die Anforderung „Niedrigenergiestandard“ wird nur an Neubauten gestellt (Vorbemerkungen, Seite 3, Version 01/2011). (MA 34 2011a) In den Raumbüchern für Hauptschulen sind Entlüftungen für innenliegende Räume vorgeschrieben, Fensterlüftung bei Räumen für Sonderunterricht (EDV-Raum, Physiksaal, Werken, Schulküche, etc.). Eine mechanische Raumlüftung ist nur bei Neubauten und dann in Unterrichtsräumen, Lehrerarbeitsräumen,

⁵¹ ÖNORM B8110-1 Wärmeschutz im Hochbau

⁵² OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz; Österreichisches Institut für Bautechnik

⁵³ Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau

	<p>Lehreraufenthaltsräumen, Direktion, Schularzt, Psychologe, Sprechzimmer, WC, Freizeitraum vorzusehen. Bei Sanierungen ist ausdrücklich Fensterlüftung angeführt. Im Turnsaal und Gymnastiksaal ist eine mechanische Raumlüftung mit Steuerung der Heizung und Lüftung in Kombination mit den Fenstern vorzusehen. (MA34 2011b)</p> <p>Gemäß Raumbuch soll <i>„grundsätzlich ... eine architektonisch, wirtschaftlich und ökologisch ausgewogene Planung und Ausführung angestrebt werden. Wirtschaftlichkeit ist gegeben, wenn möglichst geringe Lebenszykluskosten (Summe aus Errichtungskosten, Erhaltungskosten und Betriebskosten gerechnet auf die Gebäudelebensdauer) einer optimalen Nutzbarkeit gegenüberstehen.“</i></p>
<p>Die Planung von Schulbauten der Stadt Wien, Entwurfs-, Planungs- und Ausführungsrichtlinien (Maderthaler 2002)</p>	<p>Diese Richtlinien beinhalten Entwurfshinweise für die Planung von Schulbauten der Stadt Wien und entsprechen den gegenwärtigen Anforderungen, die von der Schulverwaltung an die Schulbauten der Stadt Wien gestellt werden. Damit sollen den planenden Architekten die wichtigsten Informationen für die Schulbauplanung gegeben werden. Die Schulbaurichtlinien enthalten zusammenfassende Angaben über</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Entwurfsgrundsätze für Pflichtschulgebäude und deren Raumgruppen, (2) bau- und haustechnische Ausführungsstandards, (3) Ausstattung und Möblierung und (4) Inhalt und Ablauf der Planungsleistungen. (5) Planbeispiele für einzelne Schulraumtypen.
<p>ÖISS Richtlinien Ökologische Kriterien im Schulbau (ÖISS, Ökologische Kriterien im Schulbau 2009)</p>	<p>Die in den nachfolgenden Tabelle 6 und Tabelle 7 dargestellten Werte sind auch gemäß Leitfaden des Österreichischen Instituts für Schul- und Sportstättenbau einzuhalten. Hinsichtlich Lüftung verweist das ÖISS auf die konkreten Empfehlungen für mechanische Belüftungen für Klassenzimmer bzw. Kindergärten, die im Rahmen des HdZ-Projektes Nr. 14/2008 „Evaluierung von Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens“ erarbeitet wurden (Greml 2008). Das Raumbuch der MA34 verweist wiederum auf den Leitfaden des Österreichischen Instituts für Schul- und Sportstättenbau jedoch nur für den Bereich Neubau; im Bereich Sanierung wird die Fensterlüftung vorgegeben.</p>
<p>ÖISS Richtlinien für den Schulbau (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012)</p>	<p><i>„Im Energieausweis sind für Schulgebäude zur Ermittlung des EEB auch die Beleuchtung, die Belüftung und die Hilfsenergie der haustechnischen Anlagen sowie allenfalls Kühlenergie zu berücksichtigen. Abweichend von der OIB-Richtlinie ist Kühlenergiebedarf bei Schulbauten unbedingt zu vermeiden bzw. muss ein allenfalls vorhandener Kühlenergiebedarf mit passiven Kühlsystemen abgedeckt werden...“</i></p>

	<p>„...auch bei Sanierungen haben Schulgebäude eine bestmögliche thermisch-energetische Qualität entsprechend den örtlichen und gesetzlichen Gegebenheiten (z.B. Denkmalschutz) zu erreichen. Für umfassende Sanierungen ist eine Annäherung an den Neubaustandard das Ziel. Für Teilsanierungen oder bei Auflagen des Denkmalschutzes ist eine schrittweise Reduktion des Energiebedarfs anzustreben. Auch für die Sanierung gibt es entsprechende Grenzwerte für den HWB⁵⁴ in der Art. 15 a Vereinbarung zwischen Bund und Ländern...“ - siehe die nachfolgenden Tabelle 6 und Tabelle 7.</p>
<p>ÖkoKauf Wien, Nachhaltige Beschaffung</p>	<p>Für die nachhaltige Beschaffung in Wien sind... 'laut einem Erlass des Magistratsdirektors alle Ergebnisse (Kriterienkataloge, Positionspapiere, Studien, Mustermappen) von "ÖkoKauf Wien" verbindlich anzuwenden...'⁵⁵. ÖkoKauf Hochbau verweist auf die ÖISS Richtlinie Ökologische Kriterien im Schulbau. Die Unterlagen dienen zur Verwendung für Ausschreibungen nach dem Bundesvergabegesetz (BVerG) 2006. Im Rahmen des Nationalen Aktionsplans Nachhaltige Beschaffung⁵⁶ wurden die Kriterien von ÖkoKauf und Umweltverband Vorarlberg zu einem ökologischen Baustandard harmonisiert⁵⁷.</p>
<p>Wettbewerbstool der MA34</p>	<p>Die MA34 bewertet Wettbewerbsprojekte (Neubau) mit einem Lebenszykluskostentool, das auf eine nicht-monetäre Bewertung abzielt. Die eingereichten Wettbewerbsunterlagen werden dazu herangezogen, die Folgekosten auf der Grundlage von Erfahrungswerten mit bestimmten Materialien und Konzepten zu klassifizieren. Die Klassifizierung wird mittels Farbcode ausgedrückt. Die Bewertung der Lebenszykluskosten geht in die Jury-Beurteilung ein, kommt jedoch nicht immer zum Tragen, weil Image-Faktoren wichtiger sein können. Lt. MA34, Besprechung am 22. Juli 2011 in (Dubisch, et al. 2012)</p>
<p>Art. 15a B-VG zwischen Bund und Ländern (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2009)</p>	<p>Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG zwischen Bund und Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen (2009)</p> <p>Gemäß Artikel 13 gelten die in den nachfolgenden Tabelle 7 und Tabelle 10 dargestellten Mindestanforderungen für die Sanierung öffentlicher Gebäude der Vertragsparteien.</p> <p>(3) „...Im Regelfall wird beim Austausch von Wärmebereitstellungssystemen oder der Sanierung von Heizungsanlagen, einschließlich der Einbindung in ein Fernwärmesystem, auf innovative klimarelevante Systeme im Sinne des Art.2 Abs.1Z6 umgestellt. Diese Umstellungen sind mit</p>

⁵⁴ Heizwärmebedarf

⁵⁵ www.wien.gv.at/umweltschutz/oekokauf/ergebnisse.html#hochbau / Zugriff 15.05.2015

⁵⁶ Österreichischer Aktionsplan zur nachhaltigen öffentlichen Beschaffung, Juli 2010

⁵⁷ www.nachhaltigebeschaffung.at/ / Zugriff 15.05.2015

	<p><i>Maßnahmen zur Reduktion des Heizwärmebedarfs im Sinne dieses Artikels abzustimmen. Sollte das Gebäude nach der Sanierung mit fossilen Energieträgern versorgt werden, so ist nach Möglichkeit eine Kombination mit erneuerbaren Energieträgern vorzusehen, wobei der Anteil der Erneuerbaren optimiert wird...</i></p> <p>(5) „...Für historische und denkmalgeschützte Gebäude können Ausnahmen vorgesehen werden...“</p> <p>(6) „...Die Contractingaktivitäten bei Bundesgebäuden sind weiter auszubauen, insbesondere um ausreichende wirtschaftliche Anreize zur Umsetzung umfassender Sanierungen zu geben. Dazu sind bei Investitionen Amortisationszeiten von bis zu 15 Jahren zugrunde zu legen...“</p> <p>(7) „...Es werden von den Vertragsparteien Regelungen bzw. Richtlinien für eine Optimierung des Nutzerverhaltens bezüglich Energieeinsparungen getroffen...“</p>
<p>Gebäuderichtlinie EPBD⁵⁸ 2010/31/EC (recast)</p> <p>(Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2010)</p>	<p>Gefordert ist die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand:</p> <p><i>(21) „...Der öffentliche Sektor in den Mitgliedstaaten sollte auf dem Gebiet der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden eine Vorreiterrolle übernehmen, und daher sollten die nationalen Pläne für Gebäude, die von Behörden genutzt werden, ehrgeizigere Ziele vorsehen...“</i></p> <p>In Artikel 9 zur EPBD Richtlinie wird weiters festgesetzt, dass <i>„...bis 31. Dezember 2020 alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude sind und nach dem 31. Dezember 2018 neue Gebäude, die von Behörden als Eigentümer genutzt werden, Niedrigstenergiegebäude sind...“</i> (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2010)</p> <p>In Artikel 2 wird dazu der Begriff „Niedrigstenergiegebäude“ definiert: <i>„...ein Gebäude, das eine sehr hohe [...] bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden...“</i> (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2010)</p>
<p>EC Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC</p>	<p>Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on energy efficiency and amending and subsequently repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC</p> <p>Gemäß Artikel 4 sind öffentliche Einrichtungen (Public Bodies) dazu verpflichtet, ab 2014 sicherzustellen, dass jährlich 3% der Gesamtfläche so saniert werden, dass zumindest die Minimum-Anforderungen gemäß Gebäuderichtlinie EPBD 2010/31/EU</p>

⁵⁸ European Performance of Buildings Directive

	erreicht werden.
Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal (Bundesdenkmalamt Hofburg, Abteilung für Architektur und Bautechnik 2011)	<i>„...Das Vorhaben einer energetischen Sanierung, welches Eingriffe oder Einflüsse auf die Bausubstanz beziehungsweise Wirkung und Erscheinung eines Denkmals beinhaltet, ist dem Bundesdenkmalamt mitzuteilen. Zuständig ist das entsprechende Landes-konservatorat, in dessen Bundesland sich das Objekt befindet⁵⁹ Maßnahmen, die baupolizeilich nicht einreichpflichtig sind, können durchaus bewilligungspflichtig durch das Bundesdenkmalamt sein (Fenstertausch, Bodenaufbauten etc.)...“</i>

Tabelle 5: Normen und Richtlinien für den Neubau und die Sanierung österreichischer Schulen; in Auszügen und Ergänzung nach (Dubisch, et al. 2012), (MA34 2013), (ÖISS, Ökologische Kriterien im Schulbau 2009), (Maderthaner 2002), (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2009), (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012)

Heizwärmebedarf als Mindestanforderung an umfassenden Sanierungen (ab 01.01.2010)

Ab 01.01.2010	A / V ⁶⁰ -Verhältnis ≥ 0,8	A / V-Verhältnis ≤ 0,2
HWB in kWh/(m ² a)	25 kWh/(m ² a)	12 kWh/(m ² a)

Tabelle 6: Heizwärmebedarf als Mindestanforderung an umfassende Sanierungen nach (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2009)

Mindestanforderung an Sanierungsmaßnahmen ohne umfassende Sanierung (ab 01.01.2009)

Vorgaben für die Förderung der Sanierung einzelner Bauteile	U-Wert
Fenster bei Tausch des ganzen Elements (Rahmen und Glas)	1,35 W/(m ² K)
Fensterglas (bei Tausch nur des Glases)	1,10 W/(m ² K)
Außenwand	0,25 W/(m ² K)
Oberste Geschoßdecke, Dach	0,20 W/(m ² K)
Kellerdecke, Fußboden gegen Erdreich	0,35 W/(m ² K)

Tabelle 7: Mindestanforderung an Sanierungsmaßnahmen ohne umfassende Sanierung nach (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2009)

Werden erneuerbare Energietechnologien eingebunden, so sind zusätzliche Richtlinien und Normen zu beachten. Da die Auswahl der zur Verfügung stehenden Technologien nicht unwesentlich von der aktuellen Gesetzeslage abhängt, wird im Folgenden ausschließlich auf die für die Stadt Wien und damit den Wiener Schulbau relevanten Aspekte der Einbindung von erneuerbaren Energietechnologien eingegangen.

⁵⁹ www.bda.at/organisation

⁶⁰ A-V Faktor: Area / Volume Faktor (Fläche/Volumen)

Grundsätzlich kommen in einem urbanen Umfeld fünf Technologien im Bereich der erneuerbaren Energietechnologien zum Einsatz, auf die aus technischem und integrativem Blickwinkel noch im folgenden Abschnitt 2.6 eingegangen wird: Kleinwindkraftanlagen (KWKA), Photovoltaik (PV), Solarthermie (ST) sowie geothermische Anlagen über Wärmepumpen (WP) und Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Biomasse.

Einbindung von Erneuerbaren Energietechnologien in Gebäude: Genehmigungen und Rechtliche Grundlagen für Wien

TECHNOLOGIE	GENEHMIGUNG	RECHTLICHE GRUNDLAGEN
Windkraft	<p>Errichtung und Betrieb einer Windkraftanlage sind genehmigungspflichtig lt. MA 64⁶¹.</p> <p>Die Windkraftanlage kann unter bestimmten Voraussetzungen als Ökostromanlage anerkannt werden.</p> <p>Windkraftanlagen können vor Einreichung bei der MA 64 von der Abteilung für Architektur und Stadtgestaltung (MA 19) vorbegutachtet werden.</p> <p>Die Windkraftanlage ist nach der Bauordnung (BO) für Wien bewilligungspflichtig, der Antrag auf Genehmigung wird bei der Baupolizei (MA 37) eingebracht.</p> <p>Die MA 36-B informiert über Klein-Windkraftanlagen aus technischer Sicht.</p>	<p>§ 5 Abs. 1 Wiener Elektrizitätswirtschaftsgesetz 2005 - WEIWG 2005</p> <p>§ 7 Abs. 1 Ökostromgesetz 2012</p>
Photovoltaik	<p>Errichtung und Betrieb einer Photovoltaikanlage sind genehmigungspflichtig (MA 64).</p> <p>Die Photovoltaikanlage kann unter bestimmten Voraussetzungen als Ökostromanlage anerkannt werden.</p> <p>Photovoltaikanlagen können vor Einreichung bei der MA 64 von der Abteilung für Architektur und Stadtgestaltung (MA 19) vorbegutachtet werden.</p> <p>Die MA 36-B informiert über Photovoltaikanlagen aus elektrotechnischer Sicht.</p>	<p>§ 5 Abs. 1 Wiener Elektrizitätswirtschaftsgesetz 2005 - WEIWG 2005</p> <p>§ 7 Abs. 1 Ökostromgesetz 2012</p>

⁶¹ MA 64: Rechtliche Bau-, Energie-, Eisenbahn- und Luftfahrtangelegenheiten

	Die Abteilung für Energieplanung (MA 20) informiert über die Förderung von Ökostromanlagen bzw. Photovoltaikanlagen.	
Solarthermie	Solarthermieanlagen können vor Einreichung bei der Baupolizei von der Abteilung für Architektur und Stadtgestaltung (MA 19) vorbegutachtet werden.	
Geothermie	Wasserrechtliche Bewilligungen für Anlagen zur thermischen Nutzung des Grundwassers, Anlagen zur Erdwärmenutzung und Anlagen zur Nutzung des Grundwassers müssen von der Abteilung für Wasserrecht (MA58) genehmigt werden.	§ § 10, 31c, 32 Wasserrechtsgesetz 1959
BHKW (Biomasse)	Errichtung und Betrieb eines Blockheizkraftwerks ist genehmigungspflichtig lt. MA 64. Bei Kleinfeuerungsanlagen müssen die gesetzlich vorgeschriebenen Emissionswerte eingehalten werden.	§ 5 Abs. 1 Wiener Elektrizitätswirtschaftsgesetz 2005 - WEIWG 2005 § 7 Abs. 1 Ökostromgesetz 2012 LGBl 82/2012 ⁶²

Tabelle 8: Einbindung von erneuerbaren Energietechnologien in Gebäude: Genehmigungen und rechtliche Grundlagen für Wien⁶³

Bei der Einbindung von sichtbaren erneuerbaren Energieträgern (Windkraft-, Photovoltaik- und Solarthermieanlagen) ist - wie in Tabelle 8 dargestellt - jedenfalls eine Begutachtung von der MA19 (Abteilung für Architektur und Stadtgestaltung) einzuholen, die eine Stellungnahme für die MA 64 und MA 37 verfasst. Bei Solaranlagen sind dabei folgende Aspekte zu beachten⁶⁴:

- *Die Montage von Fotovoltaik- und Solaranlagen auf zum Hofbereich oder eigenen Garten gerichteten Fassaden und Dachflächen muss bevorzugt werden.*
- *Fotovoltaik- und Solaranlagen sollen am Dach möglichst dachparallel eingebaut werden.*
- *Sichtbare Kabel- oder Schlauchführungen müssen vermieden werden.*
- *Es müssen ein oder mehrere rechteckige Felder (d.h. möglichst keine L-, T-, U- oder C-Formen) angestrebt werden.*
- *Es soll entweder mindestens 50 Zentimeter Randabstand bzw. 50 Zentimeter Abstand zu Dacheinbauten eingehalten werden oder ganze Dachflächen lückenlos*

⁶² www.wien.gv.at/recht/landesrecht-wien/landesgesetzblatt/jahrgang/2012/html/lg2012082.html / Zugriff 31.12.2014

⁶³ www.wien.gv.at/ma64/energie/ / Zugriff 15.05.2015

⁶⁴ www.wien.gv.at/amtsheifer/bauen-wohnen/stadtentwicklung/baulicheanlagen/fotovoltaik-solaranlage/ / Zugriff 15.05.2015

rechteckig ohne Randabstand (mit Ausnahme von Regenrinne und Saumblech) belegt werden.

- *Eine Übertragung der Dachkanten muss vermieden werden.*
- *Bei Flachdächern mit geneigten Modulen ist ein Randabstand der doppelten (senkrecht gemessenen) Modulhöhe vorteilhaft.*
- *Die Angleichung der Fotovoltaik- und Solaranlagen in Proportion und Maßstab an die vorhandenen architektonischen Gegebenheiten des Gebäudes ist jedenfalls grundlegend, bei Fassadenmontagen in der Regel sogar unumgänglich.*

Gebäudeintegrierte Windkraftanlagen wurden in Wien von der MA 19 nicht positiv begutachtet. Eine Ausnahme bildet dabei die Windkraftanlage auf dem EnergyBase⁶⁵ in Wien Floridsdorf, welche die bis jetzt einzige gebäudeintegrierte Anlage in Wien darstellt.⁶⁶

FINANZIERUNGSMODELLE UND ANREIZSYSTEME

Gebäudekosten spielen bei der Entwicklung von Energiekonzepten eine wesentliche Rolle. Man unterscheidet dabei Errichtungskosten, Instandhaltungskosten (Operative Kosten) und Entsorgungskosten. Unter dem Begriff Lebenszykluskosten versteht man eine phasenübergreifende Betrachtungsweise, die sowohl Kosten für die Errichtung, Betrieb als auch Entsorgung von Gebäuden inkludiert. Die Lebenszykluskosten spielen vor allem im Bereich des energieeffizienten Bauens bzw. bei der Einbindung von erneuerbaren Energietechnologien eine wesentliche Rolle, da z.B. höhere Investitionskosten mit geringeren Betriebskosten gegengerechnet werden können. Besonders im öffentlichen Bereich, in dem der Errichter zumeist auch der Nutzer ist, können Finanzierungsmodelle implementiert werden, die hocheffiziente Sanierungsvorhaben zulassen.

Die Errichtung, Erhaltung und der Betrieb der Schulgebäude ist – abgesehen von privaten Schulbetreibern – der öffentlichen Hand zuzuschreiben. Vor allem der Sanierung bestehender Schulbauten kommt aus ökonomischer Perspektive eine besondere Bedeutung zu, nachdem ein Großteil der Mittel in die Substanzerhaltung fließt. Allein in Wien gibt es in Summe 629 Schulbauten. Davon entfallen 187 auf Gymnasien, höhere Schulen, Fachschulen und Berufsschulen und 442 auf Volks-, Haupt- und Sonderschulen.⁶⁷ Die erste Gruppe der höheren Schulen ist dabei in den Verwaltungsbereich des Bundes eingegliedert, die zweite Gruppe ist Teil des Verwaltungsbereichs der Stadt Wien. Knapp 80% aller Wiener Schulbauten, die auch administrativ der Stadt Wien zufallen, stammen aus dem 19. und 20. Jahrhundert. Dies legt die Annahme nahe, dass ein Großteil dieser Schulen auch sanierungsbedürftig ist (siehe auch Abbildung 2 in Abschnitt 1.1).

Im Rahmen des Schulsanierungspakets der Stadt Wien werden bis 2017 rund 570 Millionen Euro in die Sanierung von insgesamt 242 allgemein bildenden Pflichtschulen investiert. Dabei unterstützt die Stadt Wien die Bezirke mit einer Sonderförderung von 40 Millionen Euro. Durchschnittlich wurde in jedem Jahr an 130 Schulgebäuden gearbeitet.

⁶⁵ www.energybase.at

⁶⁶ Stand 31.12.2014

⁶⁷ Open Government Data der Stadt Wien aus www.data.wien.gv.at / Zugriff 15.05.2015

2014 wurden Arbeiten an 142 Standorten weitergeführt und über 60 Millionen Euro investiert. Mit Ende 2014 wurden 76 Schulgebäude fertig saniert.⁶⁸ Auch wenn in den betroffenen Schulen je nach Baualter und Bauzustand unterschiedliche Maßnahmen umgesetzt werden, so stehen im Schnitt pro Schule lediglich 2,3 Millionen Euro zur Verfügung. Das Schulsanierungspaket zielt in erster Linie auf die Substanzerhaltung der Bauten ab. Das heißt, dass mit diesem Budget notwendige Maßnahmen hinsichtlich einer Aktualisierung der Bauten bezüglich Brandschutz, Statik, Bauphysik, Akustik und Barrierefreiheit umgesetzt werden müssen. Dies hat zur Folge, dass kaum umfassende Sanierungsmaßnahmen getätigt werden können, die auf Energieeffizienz, die Integration erneuerbarer Energien sowie Veränderung der räumlichen Situation im Hinblick auf neue Unterrichtsformen in einem integrativen Ansatz gerichtet sind.

Um umfassende Sanierungen, die auch erhebliche Energieeinsparungsmaßnahmen beinhalten, zu ermöglichen, müssen auch entsprechende Kostenmodelle entwickelt werden. Bei der ersten Passivhaus-Schulsanierung in Österreich (Schule Schwanenstadt, siehe Annex, Projektbeispiel 1: Polytechnische Schule und Hauptschule II Schwanenstadt) wurden die möglichen Sanierungsvarianten in einer Vorstudie nicht nur hinsichtlich Energiereduktion, sondern auch hinsichtlich der zuzüglichen Kosten bewertet. Je nach Variante wurde dabei eine Kostenerhöhung von 8% bis 13% gegenüber einer konventionellen Sanierung berechnet (Lang 2004).

Hermelink führt in (Hermelink 2009) an, dass bei der Berechnung zur Kostenoptimierung von Sanierungen ‚Verzerrungen‘ bei der Berechnungsmethode eliminiert werden müssen. Verzerrungen in diesem Kontext beziehen sich auf positive Effekte (statische Kalkulationen, hoher Anstieg des Energiepreises) oder negative Effekte (Anwendung der Amortisations-Methode, hohe Zinsen, niedrige Restwerte und kurze Lebenszyklen). Als Schlussfolgerung plädiert Hermelink für eine umfassende Lebenszykluskostenberechnung auf Basis von Nettobarwerten (Hermelink 2009). Kušar argumentiert darüber hinaus in (Kušar, Kovač und Šelih 2013), dass bei öffentlichen Gebäuden andere Berechnungsgrundlagen für die Auswahl ökonomisch adäquater Sanierungskonzepte eingesetzt werden sollten, da hierbei weder der Marktwert noch der Standort relevant für die Finanzierung sind, sondern nur Investitionskosten, Erhaltungskosten und Betriebskosten berücksichtigt werden.

Nachdem die Finanzierung eine erhebliche Barriere in der Umsetzung von energieoptimierten Konzepten darstellt und eine substantielle Erhöhung der aktuellen Budgets in diesem Bereich seitens der öffentlichen Hand nicht zu erwarten ist, müssen andere Finanzierungsmodelle gefunden werden, um hier einen messbaren Mehrwert zu erzielen. Im Rahmen des Projekts SchulRen+ (Dubisch, et al. 2012) wurden für die Schulsanierung adäquate Modelle zusammengefasst, die in Folge beispielhaft und in Auszügen beschrieben werden:

⁶⁸ www.wien.gv.at/bildung/schulen/ Zugriff 15.05.2015

Public Private Partnerships (PPPs)

„...Eine öffentlich-private Partnerschaft (ÖPPs) oder Public-Private Partnerships (PPPs) ist eine vertragliche Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand und privatrechtlich organisierten Unternehmen [...], die für bestimmte Aufgaben die notwendigen Ressourcen (Fachwissen, Kapital und Personal) in ein gemeinsames Projekt einbringt, und die Aufgaben entsprechend den besonderen Fähigkeiten der Partner verteilt. Grundsätzlich wird hierfür meist eine Zweckgesellschaft gegründet, an der die öffentliche Hand und die private Wirtschaft jeweils einen etwa gleich großen Anteil haben....⁶⁹ Vor allem öffentliche Infrastrukturprojekte sollen dabei durch eine langfristige Partnerschaft zwischen Privatwirtschaft und öffentlicher Hand realisiert werden.

Im Gegensatz zu einem konventionellem Modell, in dem im gesamten Lebenszyklus des Bauwerks lediglich der Bau (oder Umbau) eines Bauprojekt an einen privaten Anbieter vergeben wird, geht das PPP-Modell davon aus, dass Planung, Bau, Finanzierung, Betrieb und Verwertung in privater Hand sind, siehe Abbildung 20. Damit übernimmt der private Anbieter langfristig eine umfassende Verantwortung für das Gebäude. So können vor allem auch Projekte, die zu Energieeinsparungen führen, finanziert werden. PPPs stellen damit ein zweckmäßiges Instrument im Bereich der Schulsanierungen dar.

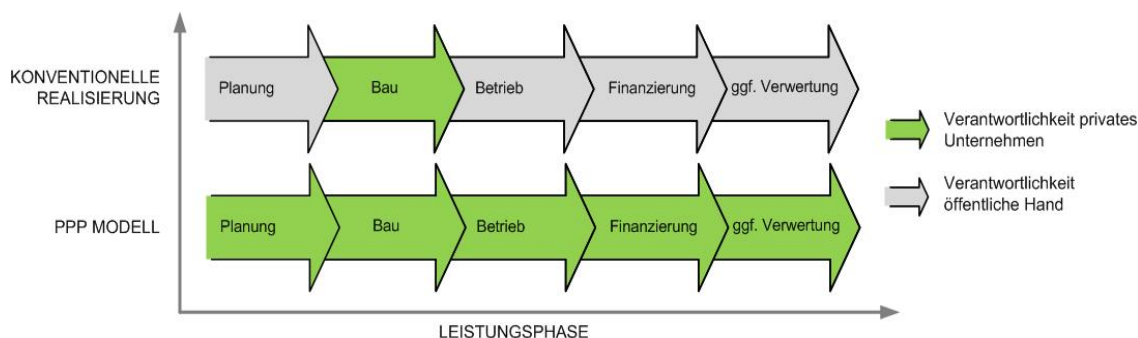


Abbildung 20: Optimierung über den Lebenszyklus durch PPP Modell⁷⁰

Nachdem es in den Verantwortlichkeiten teilweise Überschneidungen zwischen dem öffentlichen und privaten Partner geben kann, gilt es vor allem zu Beginn eines Projekts klare Verantwortlichkeiten festzulegen und alle Beteiligten aus den relevanten Verwaltungsstrukturen in die Projektentwicklung einzubinden. Dabei kann es auch zu Veränderungen in den Verwaltungsstrukturen des öffentlichen Partners kommen. Aufgaben, die zuvor ausschließlich in der öffentlichen Hand lagen, können auf einen privaten Partner übertragen werden, was zur Folge haben kann, dass auch Kompetenzen, die jahrelang aufgebaut wurden, an private Anbieter abgegeben werden und damit innerhalb der öffentlichen Hand nicht mehr benötigt werden.

⁶⁹ www.wikipedia.org; Zugriff 15.05.2015

⁷⁰ Abbildung nach ‚Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Public Private Partnership Modellen im kommunalen Hoch- und Tiefbau‘, PPP Schulstudie des Forschungsprogramms ‚Aufbau Ost, Raumentwicklung und Strukturpolitik‘ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Raumordnung (BBR), Berlin, 2007

Brauns beschreibt dazu in (Brauns 2007) die wesentlichen Aufgaben der öffentlichen und privaten Partner und zeigt die Überschneidungen in den oben skizzierten Lebenszyklusphasen auf (siehe Tabelle 9):

Wesentlichen Aufgaben der öffentlichen und privaten Partner in einem PPP Modell

Lebenszyklus	Aufgaben öffentlicher Partner (Schulträger)	Aufgaben privater Partner
Planung	<ul style="list-style-type: none"> - Bedarfserfassung - Projekteignung für PPP untersuchen - Wirtschaftlichkeitsnachweis für PPP erbringen - Identifizierung von Risiken und Entscheidung über Verteilung - Betroffeneninformation und Beteiligung - Change-Management der eigenen Verwaltung - Entwurf - Genehmigung - Leistungsbeschreibung - Ausschreibung - Auftragsvergabe 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifizierung von Risiken und Mit-Entscheidung über ihre Verteilung - Entwurf - Ausschreibung von Leistungen, die eingekauft werden - Auftragsvergaben
Bau	<ul style="list-style-type: none"> - Bauüberwachung - Bauabnahme 	<ul style="list-style-type: none"> - Bauausführung - Bauüberwachung - Bauabnahme - Projektsteuerung (Termin, Kosten, Qualität) - Übergabe und Inbetriebnahme
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> - Überwachung der Vertragserfüllung - Eventuell notwendige Vertragsänderungen verabreden 	<ul style="list-style-type: none"> - Instandhalten, warten, modernisieren und sanieren - Vertragscontrolling - Facility Management - Weitere Nutzungsmöglichkeiten

		erschließen
Finanzierung	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung des Beschaffungsmodells - Klärung der besten Finanzierungsmöglichkeiten - Finanzierungsverhandlungen - Erarbeitung von Verträgen unter Berücksichtigung aller juristisch relevanten Aspekte - Abstimmung mit dem Rechnungsprüfungsamt - Vertragsabschluss - Management der Vertragserfüllung 	<ul style="list-style-type: none"> - Klärung der besten Finanzierungsmöglichkeiten - Finanzierungsverhandlungen - Mitentscheidung über das Finanzierungsmodell, welches mit dem Schulträger in Kraft gesetzt werden soll - Erarbeitung von Verträgen unter Berücksichtigung aller juristisch relevanten Aspekte - Vertragsabschluss - Management der Vertragserfüllung
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> - Neue Betriebsvereinbarungen - Ggf. Umbauten für andere Nutzung der Gebäude - Außerbetriebnahme - Abbruch / Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> - Neue Betriebsvereinbarungen - Ggf. Umbauten für andere Nutzung der Gebäude - Außerbetriebnahme - Abbruch / Entsorgung

Tabelle 9: Wesentlichen Aufgaben der öffentlichen und privaten Partner in einem PPP Modell nach (Brauns 2007)

Contracting

Im Zusammenhang mit PPP Modellen kommen auch häufig Contracting⁷¹ Modelle zur Anwendung. Der Contractor plant, finanziert und optimiert (durch Modernisierung, Umbau oder Ersatz) dabei jene Maßnahmen, die sich langfristig durch Energiekosteneinsparung rechnen und garantiert der öffentlichen Hand eine gewisse Höhe an Einsparungen. Der Gewinn des Contractors richtet sich nach der Höhe der erzielten Einsparung.

Die wesentlichen Vorteile dieser Modelle lassen sich auch im Hinblick auf die Sanierung von Schulbauten nach (Dubisch, et al. 2012) und dem Bundesgesetzblatt (BGBl) II 251/2009⁷² wie folgt zusammenfassen (siehe auch Tabelle 10 Übersicht zum Vergleich mit dem Intracting Modell):

⁷¹ Im Bereich der PPP Modelle wird häufig auch der Begriff ‚Contracting‘ oder ‚Contractor‘ verwendet; der Begriff beschreibt in diesem Zusammenhang die ‚Übertragung der eigenen Aufgaben auf einen Dienstleister‘

⁷² BGBl. II Nr. 251/2009 vom 30. Juli 2009 (Vereinbarung gem. Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen) Artikel 13 (6); www.bmwfw.gv.at/Tourismus/energieeinsparungen/Documents/Bundescontracting.pdf / Zugriff 15.05.2015

- Abbau des Investitionsstaus im Bereich Schulgebäude => Für den Auftraggeber entsteht kein Kapitalbedarf. Contracting ist daher dann ein Lösungsansatz, wenn kein Kapital für Investitionen vorhanden ist.
- Effizienzvorteile (höhere Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur konventionellen Durchführung) und langfristige Entlastung des Haushaltes => Schon während der Vertragslaufzeit fallen dem Auftraggeber (Gebäudenutzer) ein vertraglich festgelegter Anteil (zwischen 10 % und 20 %) der tatsächlichen Energiekosteneinsparungen zu. Nach der Vertragslaufzeit profitiert dieser von den gesamten Energiekosteneinsparungen.
- Nutzung von privatem Kapital => Die Vergütung für den Contractor wird auf Basis der tatsächlich erzielten Einsparungen ermittelt. So wird das technische und finanzielle Risiko auf den Contractor verlagert.
- Nutzung von privatem Know-how => Die Dienstleistungspalette eines Contractors umfasst neben Planung, Realisierung und Finanzierung von Energiesparmaßnahmen unter anderem auch die Betriebsführung. Für all diese Leistungen hat der Auftraggeber im Contractor einen einzigen Ansprechpartner.

Besonders bei umfassenden Sanierungsvorhaben, die einen gesamtheitlichen Ansatz im Bereich der energetischen Sanierung verfolgen, kann die Finanzierung der Sanierung mit den Vorteilen eines langfristigen Energie-Contracting-Modells verbunden werden. Darüber hinaus werden in einer Studie zu Sanierung und Energie-Contracting nach (Bleyl, et al. 2007) folgende weitere Vorteile angeführt:

- Garantie der Energiekosteneinsparung, Innenraumkomfortparameter und anderer messbarer Faktoren
- Möglichkeit der Einsparung von Investitionskosten durch Dritt-Finanzierung
- Technisches und wirtschaftliches Risiko der Sanierungs- und Implementierungsmaßnahmen werden vom Contractor übernommen
- Partielle Rückzahlung von zukünftigen Energiekosteneinsparungen
- Die Auszahlung des Contractors ist abhängig von den definierten Leistungsparametern

In Wien wurden bereits erste Pilotprojekte zu PPP Modellen im Schulbau erfolgreich durchgeführt: das Projekt ‚Energie-Einspar-Contracting‘, welches an 23 Wiener Bundesschulen von 1999 bis 2008 durchgeführt wurde, brachte rund 3,6 Millionen Euro Einsparung an Energiekosten, was einer CO₂ Reduktion von 1600 Tonnen pro Jahr entspricht. Die prognostizierte Einsparung von 21,1% wurde in der Laufzeit sogar übertroffen. Die Einsparungen wurden durch zahlreiche technische Energieeffizienz-Maßnahmen im Bereich Heizung, Beleuchtung und Warmwasser, aber auch durch ein verbessertes Nutzerverhalten erzielt.⁷³ Nach diesem erfolgreichen Politversuch wurde im Juli 2009 mit einer Vereinbarung zwischen Bund und Ländern die „...*Forcierung der*

⁷³ www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1056841; Artikel vom 13.03.2011; Zugriff 15.05.2015

*Contracting-Aktivitäten bei Bundesgebäuden festgelegt...*⁷⁴ Auf Grund des relativ hohen administrativen Aufwands und der damit verbundenen Kosten werden Contractingprojekte erst ab einem bestimmten Betrag an Energiekosteneinsparungen sinnvoll angewendet. Im Bereich der Wärmelieferung liegt der Schwellenwert z.B. bei mindestens 20.000 Euro Jahreskosten (Dubisch, et al. 2012).

Im Bereich der Wiener Schulen wurden auch bereits erste Erfahrungen mit PPP Modellen und Contracting gemacht. Dabei hat sich herausgestellt, dass eine Vertragsdauer von mehr als 10 Jahren bessere Ergebnisse erzielen wird. Bislang wurden 10 Jahre im Bereich der Wiener Schulen als Grenze angesetzt (siehe auch Tabelle 2). Eine erhebliche Barriere zu einer verstärkten Anwendung von PPP-Modellen stellt jedoch nach wie vor die komplexe Struktur der Verantwortlichkeiten innerhalb der Stadt dar.

Intracting

Intracting verfolgt im Bereich der öffentlichen Bauten das gleiche Ziel wie Contracting: den effizienten Einsatz von Mitteln zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Im Gegensatz zum Contracting, wo Planung, Umsetzung und Betrieb von externen Partnern durchgeführt werden, erfolgt die Umsetzung der Maßnahmen beim sogenannten ‚Intracting‘ von einer verwaltungsinternen Stelle. Das Prinzip des Intracting ist die Finanzierung aus „sich selbst“, also mittels der durch die energetischen Maßnahmen eingesparten Geldmittel. Dazu ist ein besonderer Haushaltsposten bzw. Fonds erforderlich, der mit einem einmaligen Startkapital ausgestattet ist. Damit werden erste Maßnahmen finanziert. Kosteneinsparungen, die sich auf Grund dieser Maßnahmen einstellen, werden dem Fonds gutgeschrieben, wodurch wieder weitere Investitionen getätigt werden können⁷⁵.

Im Bereich der Gemeinden wurde dieses Modell erstmals 1995 von der Stadt Stuttgart angewendet. Mittlerweile hat sich das Modell in zahlreichen Projekten bewährt. Die Stadt Stuttgart beschreibt das Finanzierungsmodell als *„...eine sehr interessante Möglichkeit, Maßnahmen zur Energieeinsparung forciert umzusetzen“* und nennt als Voraussetzung *„...eine Stelle, die zum einen mögliche Maßnahmen fachlich beurteilen kann und zum anderen den Überblick über Einsparpotential der gesamten Verwaltung hat...“*⁷⁶ Intracting kann vor allem dort angewendet werden, wo Contracting-Modelle administrativ zu aufwändig sind bzw. nicht der Größenordnung des Projekts entsprechen. Die Barrieren in der Anwendung eines Intracting Modells sind allerdings ähnlich dem Contracting Modell: die Zuständigkeiten sind innerhalb der Stadt auf mehrere Stellen aufgeteilt bzw. Zuständigkeiten finanzieller, technischer und organisatorischer Natur sind generell geteilt. Damit wird eine ergebnisorientierte Optimierung maßgeblich erschwert, da schon die Implementierung des Modells eine Zusammenführung der Kompetenzen bedingen würde.

⁷⁴ BGBl.II Nr. 251/2009 vom 30. Juli 2009 (Vereinbarung gem. Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen) Artikel 13 (6); www.bmwf.w.gv.at/Tourismus/energieeinsparungen/Documents/Bundescontracting.pdf / Zugriff 15.05.2015

⁷⁵ www.wikipedia.org / Zugriff 15.05.2015

⁷⁶ www.energy-cities.eu/db/stuttgart_136_de.pdf / Fallstudie herausgegeben von Energie Cités und der Stadt Stuttgart (2002) / Zugriff 15.05.2015

Kristof beschreibt in (Kristof, Nanning und Merten 1998) eine Reihe von Barrieren und Lösungsansätzen zu den Themen Zuständigkeiten, Information, Kommunikation & Qualifikation, Finanzierung, Verwaltungsstrukturreform und Kreditdeckung. Eine Übersicht der Vorteile von Contracting und Intracting Modellen ist in Tabelle 10 dargestellt:

Vorteile des Contracting und Intracting

CONTRACTING	INTRACTING
Erschließung neuer Finanzierungsquellen, Überwindung von Finanzierungsengpässen (eröffnet Spielraum für neue Investitionen und entlastet das Verwaltungsbudget durch die Senkung der Energiekosten)	Bei kleineren Vorhaben, für die eine externe Contracting-Finanzierung zu aufwändig wäre
Nutzung der Vorteile von Spezialisierung und Arbeitsteilung (d.h. optimierte Lösungskonzepte aus einer Hand)	Wagnis- und Gewinnzuschläge entfallen, und die finanzielle Belastung für die Gemeinde ist damit geringer
Übernahme bzw. Senkung von Risiken	Der Informationsvorsprung der städtischen Ämter kann genutzt werden
Weiterbildungseffekte durch Zusammenarbeit zwischen Contractor und eigenem Personal	„Cream Skimming“ kann ausgeschlossen werden (manche Contractoren bieten nur einige wenige lukrative Einsparmaßnahmen an)
Lösung für personelle Engpässe da bestimmte Aufgaben auf den Contractor verlagert werden	Eigener Personalabbau und Verlust an eigenem Know-how wird verhindert

Tabelle 10: Vorteile des Contracting und Intracting (Kristof, Nanning und Merten 1998)

In einer 2011 veröffentlichten Studie kommen (Ramesohl und Kristof 2001) zum Schluss, dass Intracting dazu verwendet werden kann, die Strukturen im kommunalen Gebäudemanagement zu verändern, um die Voraussetzungen für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen zu verbessern (Ramesohl und Kristof 2001). Umfassende Studien mit aktuellen Beispielen fehlen jedoch.

Bürgerbeteiligungsmodelle / Bürgercontracting

Bürgerbeteiligungsmodelle sind Finanzierungsmodelle, bei denen sich Bürger mit ihrem privaten Kapital direkt oder indirekt an einem öffentlichen Projekt beteiligen und damit Klimaschutz zu einer privaten Kapitalanlage machen. Erste Modelle dieser Art im Bereich der Schulsanierung wurden bereits 2004 vom Wuppertal Institut im Rahmen der 100.000 Watt Initiative vorgestellt. Zu diesem Zwecke wurde die Solar & Spar Contract GmbH & Co. KG gegründet, die ab einer Beteiligung von 500 Euro Lehrer und Eltern mit

Zeichnungsscheinen an Photovoltaik (PV)-Projekten und Energieeffizienzmaßnahmen in Schulen beteiligte. Als Vorteile dieses Modell gelten unter anderem die Erhöhung der Verantwortung Privater im Bereich des Klimaschutzes, Mobilisierung des privaten Kapitals für ökologische Konzepte und die Realisierung größerer Projekte durch Einbindung vieler⁷⁷. Kopf beschreibt dazu in (Kopf 2013) unterschiedliche Formen der Bürgerbeteiligung, wie offene (bzw. direkte) Beteiligung, stille Beteiligung, atypisch stille Beteiligung, Darlehen mit Festverzinsung, Gewinndarlehen, Genussrecht und Beteiligung über eine Zwischengesellschaft. Die unterschiedlichen Beteiligungsformen sind dabei auch hinsichtlich ihres ‚Beitrags zur Akzeptanzsteigerung‘ bewertet, wobei hier die Beteiligung über Genussrechte und die offene bzw. direkte Beteiligung am besten abschneiden.

In Wien werden zurzeit noch keine Projekte zur Beteiligung an energieeffizienten Sanierungen von öffentlichen Gebäuden ausgeschrieben. Jedoch baut Wien Energie in Kooperation mit der Stadt Wien eine Reihe von PV-Solarkraftwerken. Bislang wurden sechs solche Kraftwerke in Simmering, Leopoldau, Donaustadt, zwei in Liesing und das bislang größte auf dem Dach des Bahnhofs Wien Mitte errichtet. Die Bürger können sich an diesen Projekten beteiligen und profitieren damit einerseits von den Renditen und können andererseits zum Ausbau der erneuerbaren Energie in ihrer Stadt beitragen.⁷⁸ Derartige Modelle könnten auch im Bereich der Schulsanierung angewendet werden: die zahlreichen Dachflächen der Wiener Schulen könnten damit zur Stromerzeugung genutzt werden und die Plus-Energie-Sanierung weiter forcieren.

Dachvermietung / Dachüberlassung / Dachgeschoßausbau

Bei einer Dachvermietung bzw. Dachüberlassung wird die Dachfläche an einen Investor bzw. Betreiber auf eine bestimmte Zeit vermietet. Die Investitionskosten und Wartungskosten fallen damit dem Betreiber zu. Der durch die PV-Nutzung generierte Strom wird in das Netz eingespeist (und muss demzufolge nicht direkt im Gebäude genutzt werden). Im Forschungsprojekt SchulRen+ gab es positive Rückmeldungen seitens Wien-Energie, die in Bezug auf eine mögliche Solarkraftwerke-Investition im Rahmen des Projekts angefragt wurden (Dubisch, et al. 2012). Dies zeigt das prinzipielle Interesse des Energieversorgers über neue Modelle zu diskutieren, die sich durch die Bereitstellung von Hüllflächen im urbanen Raum ergeben.

Der Dachgeschoßausbau ist vor allem im Wohnbau eine Möglichkeit, Kapital für eine umfassende Sanierung des gesamten Gebäudes zu lukrieren. Im Bereich der öffentlichen Bauten wurde diese Möglichkeit bis jetzt jedoch nicht angewandt, da damit auch der Verkauf von Gebäudeflächen verbunden wäre. Nachdem Bauflächen in urbanen Gebieten jedoch immer knapper werden und eine Verdichtung des Bestands nicht nur aus Gründen der Energieeffizienz wünschenswert ist, sollte die Möglichkeit einer finanziellen Nutzung von Dachgeschoßen in öffentlichen Gebäuden in Zukunft zumindest einer eingehenden Kosten-Nutzen-Analyse unterzogen werden. Zur Schaffung nutzbarer Flächen innerhalb des Schulverbands ist ein Ausbau des Dachbodens jedoch überaus geeignet, zumal ein

⁷⁷ www.eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/egs/pdf/egs040330_berlo.pdf / Zugriff 15.05.2015

⁷⁸ www.buergersolarkraftwerke.at/ / Zugriff 29.12.2014

ungedämmter Dachboden oft auch eine energetische Schwachstelle darstellt. Vor allem in denkmalgeschützten Bereichen können durch Dachbodenausbauten neue Flächen geschaffen werden und damit Zubauten in einer Schutzzone vermieden werden. Ein Beispiel einer erfolgreichen Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes findet sich in dem Umbau der evangelischen Schule in Wien. In dem von Architekt Treberspurg geplanten Projekt wurde eine Erhöhung der Energieeffizienz und Erweiterung von nutzbaren Flächen durch die Überdachung von Innenhöfen und den Ausbau des Dachgeschoßes in einem denkmalgeschützten Gebäude umgesetzt - siehe Annex, Projektbeispiel 14: Evangelische Schule am Karlsplatz, Wien (Gary 2012). Damit gewinnt die Schule nicht nur attraktive Nutzflächen. Die architektonisch zergliederte Fassade im Innenhof wurde durch das Glasdach geschützt, womit die ehemaligen Freiflächen nun einen Pufferraum zwischen Innen- und Außenbereich darstellen.

Domestic Offset Projects (DOPs)

Nationale Ausgleichsprojekte, auch Domestic Offset Projects (DOPs) genannt, stellen ein weiteres Modell zur Reduktion von CO₂ Emission dar. Nach Türk (Türk 2009) versteht man unter DOPs *„...im Inland von privaten Akteuren in Sektoren außerhalb eines Emissionshandelssystems durchgeführte Emissionsminderungen, die entsprechend internationaler oder nationaler Regeln zertifiziert werden. Die so generierten Zertifikate können in Sektoren, die einem Emissionshandelssystem unterliegen (beispielsweise die Industrie), für deren Zielerreichung als Ausgleich für eigene Maßnahmen benutzt werden. Weiters können sie von Akteuren für den freiwilligen Ausgleich ihrer Treibhausgas- (THG)-Emissionen verwendet werden, wie beispielsweise der freiwillige Ausgleich von Flugemissionen. Ein Hauptgrund anderer europäischer Staaten, DOP- oder DOP ähnliche Systeme einzuführen, ist es, mit privatem Kapital technologischen Wandel hin zu Treibhausgasreduktion und einer nachhaltigeren Energienutzung zu beschleunigen...“*

Demzufolge könnte ein österreichischer Unternehmer im eigenen Land ein DOP durchführen. Eine Voraussetzung dafür ist die Zusätzlichkeit oder *Additionality* des DOP. Wenn ein Emissionsreduktionsprojekt als DOP vorgeschlagen wird, diese potentielle Reduktion jedoch schon von einem anderen Politikinstrument erfasst ist, kann dieses Projekt nicht mehr als zusätzlich betrachtet werden. In Österreich gibt es derzeit noch keine Rahmenbedingungen für die Abwicklung von DOPs, weil das Kriterium der Zusätzlichkeit im Hinblick auf die Verpflichtungen gemäß Kyoto-Protokoll in Frage gestellt wurde.

Mit der neuen Energieeffizienz-Richtlinie wird die Verpflichtung bestehen, dass die öffentliche Hand ab 2014 jährlich 3 % der Bruttogeschoßfläche zu sanieren hat. Hier wäre zu untersuchen, inwieweit sich durch die Anwendung von DOPs in Kombination mit PPP-Modellen ein Mehrwert ergeben könnte, wenn die energetisch umfassende Sanierung besser als gesetzlich vorgeschrieben durchgeführt wird (Dubisch, et al. 2012). Die Studie zu den ‚Möglichkeiten von Domestic Offshore Projekten in Österreich‘ (Türk 2009) kommt zu dem Schluss dass DOPs in Österreich derzeit (Basis 2009) keine Schlüsselrolle als klimapolitisches Instrument darstellen.

Finanzierung durch Fördermittel

Fördermittel für begleitende Studien und / oder Investitionen stellen einen weiteren Aspekt in einem Finanzierungsbündel dar. Bei den öffentlichen Bauten und insbesondere Schulbauten ist jedoch durch die komplexe Verwaltungsstruktur (siehe Abschnitt ‚Zuständigkeiten‘ oben) zumindest in Wien eine Zusatz-Finanzierung über Fördermittel erschwert. Vor-Studien oder wissenschaftliche Planungsbegleitung, die keine direkten Investitionskosten darstellen, können jedoch leichter gefördert werden. So wurde z.B. die Passivhaus-Sanierung der Schule Schwanenstadt (siehe Annex, Projektbeispiel 1: Polytechnische Schule und Hauptschule II Schwanenstadt) durch eine von der Förderlinie „Haus der Zukunft“⁷⁹ geförderte Studie unterstützt. In Oberösterreich unterstützt das Land durch direkte Investitionen in der Höhe von 90% der Sanierungskosten (10% muss die Gemeinde tragen⁸⁰) - siehe dazu im Annex Projektbeispiel 18: Volks- und Hauptschule Rainbach im Mühlkreis. In Deutschland werden Projekte mit Begleitstudien bzw. wissenschaftlicher Planungsbegleitung und Monitoring unterstützt. Ein Beispiel dafür ist die größte Passivhaus Schulsanierung Deutschlands (Stand 2013) in Cottbus: siehe im Annex Projektbeispiel 13: Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus.

Finanzierungen für die Sanierung von öffentlichen Gebäuden werden auch von der Europäischen Kommission im Rahmen der Kohäsionspolitik für Energieeffizienz unterstützt. Österreich rangiert bei diesen Fördermittel jedoch im niederschwelligen Bereich und wurde zwischen 2000 und 2013 unter diesem Fördertopf mit lediglich knapp 7 Mio Euro (0,1% der insgesamt zugewiesenen Mittel) unterstützt. (Im Vergleich: die Tschechische Republik erhielt im selben Förderzeitraum 950 Mio Euro). Im Rahmen einer Überprüfung des europäischen Rechnungshofes wurde jedoch festgestellt, dass die Mittel zwar zweckgebunden, aber nicht kostenwirksam eingesetzt wurden. Empfehlungen des europäischen Rechnungshofes folgend sollten in Zukunft Leistungsindikatoren in Bezug zu Energieeffizienz und Amortisationsdauer eingesetzt, sowie kostenoptimale Niveaus für Referenzgebäude festgelegt werden. (Europäischer Rechnungshof 2012). Sollte Österreich in der nächsten Periode eine höhere Summe zugewiesen bekommen, könnten dadurch auch Fördergelder für innovative Schulsanierungen lukriert werden.

In Deutschland liefert das Bundesland Sachsen-Anhalt ein Vorzeigemodell, wie Fördergelder der Europäischen Kommission für die Schulsanierung effizient eingesetzt werden können: Das Bundesland hat ein zentrales Innovations- und Investitionsprogramm *Sachsen-Anhalt STARK III*⁸¹ geschaffen um ökologische und nachhaltige Effekte im Bereich der Schulsanierung zu erzielen. Finanziert wird das Programm aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) sowie aus Mitteln des Landes Sachsen-Anhalt. Abgewickelt wird das Programm über die Investitionsbank Sachsen-Anhalt⁸², die eine zentrale Anlaufstelle für die Förderungen darstellt und die administrative Abwicklung zur EC übernimmt. Die Schulen können damit

⁷⁹ www.nachhaltigwirtschaften.at

⁸⁰ www.rainbach.at/index.php?page=generalsanierung-schule / Zugriff 22.08.2014

⁸¹ www.starkiii.de / Zugriff 15.05.2015

⁸² www.ib-sachsen-anhalt.de/firmenkunden/investieren/sachsen-anhalt-stark-iii.html / Zugriff 15.05.2015

auf europäische Fördergelder zugreifen, um diese aber lokal ansuchen. Dies erleichtert den administrativen Aufwand für die Schulen und verringert Barrieren. Bis Mai 2015 wurden mit *Stark III* 150 Mio. Euro von der EC bereitgestellt und weitere 500 Mio. Euro genehmigt. Bis 2020 will das Bundesland alle bestandsfähigen Schulen sanieren⁸³.

Anreizsysteme

2013 hat das BMBF⁸⁴ (damals noch BMUKK) einen Award für ‚Bessere Lernwelten‘ ausgeschrieben, in dem interdisziplinäre Schulprojekte ausgezeichnet werden, die *„...baukulturelle und pädagogische Qualitäten vorbildlich vereinen und damit einen wesentlichen Beitrag zur zukunftsfähigen Bildungs- und Baukultur in Österreich leisten...“*⁸⁵. Erstmals wird damit ein Preis geschaffen, der sich der Verschränkung von Architektur und Pädagogik widmet und damit die Interdisziplinarität der Aufgabe des Schulbaus hervorhebt. Von den Preisträgern wird gefordert, die neuen Anforderungen auch in den Schulbaurichtlinien zu verankern und den Schwerpunkt auf die räumlichen-pädagogischen Konzepte im Schulbau zu legen.⁸⁶ Leider ist der Award eine offensichtlich einmalige Aktion gewesen. 2014 war bereits nichts mehr davon zu sehen, außer den Anmeldeformularen für 2013.

In Deutschland gilt das Projekt *fifty-fifty* als Best-Practice-Modell im Bereich Energiesparen: seit 1996 werden Schulen dazu angehalten durch eine Veränderung des Nutzerverhaltens Energie im Schulalltag einzusparen. Die Hälfte der eingesparten Energiekosten kommt dabei der Schule direkt zu Gute. In 2,5 Jahren wurden damit von 70 Schulen rund 5000t CO₂ eingespart⁸⁷. Mit externer Unterstützung und Begleitung können die Schulen damit 5-10% ihrer Energiekosten senken (IEE 2007).

SCHULSANIERUNGSPAKET DER STADT WIEN

Das ‚Substanzsanierungsprojekt Schulen Wien‘ (SUSA), welches aktuell ‚Schulsanierungspaket 2008 bis 2017‘ genannt wird, sieht vor, dass bis 2017 für die Sanierung von 242 Wiener allgemeinbildenden Pflichtschulen insgesamt 570 Millionen Euro für Substanz erhaltende Maßnahmen ausgegeben werden. 2014 wurden Arbeiten an 142 Standorten weitergeführt und über 60 Millionen Euro investiert. Mit Ende 2014 wurden 76 Schulgebäude fertig saniert.⁸⁸ Die Maßnahmen unterteilen sich in 15 Maßnahmenbereiche, die wie folgt in Tabelle 11 dargestellt werden. Zusätzliche bauliche Maßnahmen, die über die reine Substanzerhaltung hinausgehen, werden für einzelne Schulen realisiert und sind in Tabelle 12 als ‚Zusatzpaket‘ dargestellt. Die Auswahl der auszuführenden Maßnahmen für die jeweiligen Schulen wurde zu Beginn der Gesamtplanung für alle Schulen von der MA34⁸⁹ und MA56⁹⁰ durchgeführt.

⁸³ <http://www.mf.sachsen-anhalt.de/ministerium-der-finanzen/> / Zugriff 15.05.2015

⁸⁴ BMBF: Bundesministerium für Bildung und Frauen; vor 2013 noch BMUKK: Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur

⁸⁵ www.bmbf.gv.at/ministerium/preise/bessere_lernwelten/ / Zugriff 22.08.2014

⁸⁶ Der Standard Printausgabe vom 01.06.2013, Album A4

⁸⁷ Fifty/Fifty Energiesparen an Schulen; www.fifty-fifty.eu/ / Zugriff 24.02.2015

⁸⁸ www.wien.gv.at/bildung/schulen/ / Zugriff 15.05.2015

⁸⁹ Magistratsabteilung 34: Bau- und Gebäudemanagement

⁹⁰ Magistratsabteilung 56: Wiener Schulen

Maßnahmenkatalog im Rahmen des SUSA

MASSNAHME	BESCHREIBUNG
Ausbau der schulischen Tagesbetreuung	Herstellung von Ausgabeküchen und Speisesälen und ggf. Freizeiträumen; die Kosten der Einrichtung und geringwertiger Wirtschaftsgüter für die Ausgabeküche und den Speisesaal sind in dem Schulsanierungspaket inkludiert
Ausmalen	Ausmalen des Schulgebäudes mit Berücksichtigung von eingemieteten Kindergarten- oder Horteinrichtungen der MA 10
Brandschutzkonzepte und deren bauliche Umsetzung	Erstellung eines Brandschutzkonzeptes (beinhaltet nur die Planung und nicht die Umsetzung des Brandschutzkonzeptes); Bauliche Brandschutzmaßnahmen, welche sich auf Grund des Brandschutzkonzeptes ergeben, wie die Errichtung von Brandabschnitten, Fluchtstiegenhäusern, Brandrauchentlüftungen, Schaffung eines entsprechenden Müllraumes, Einbau von Brandschutzklappen und ev. einer Entlüftungsanlage
Dächer	Nach Erfordernis Sanierung des bestehenden Daches oder komplette Dacherneuerung; Dachsanierung inkl. Verblechungen, Kamine und Aufbauten; Blitzschutzanlage; Dämmung der obersten Geschossdecke im Zuge der Dachsanierung. Energietechnische Verbesserung von Flachdächern
Elektroanlagen	Erneuerung der Elektro-Verteiler, Zuleitungen, Hausanschlüsse, Elektro-Steigleitungen; Projektbedingt erforderliche Ganginstallationen
Fassaden	Fassaden nach Möglichkeit und Erfordernis wärmedämmen. Bei historischen Fassaden ist die Rekonstruktion historischer Schmuckelemente, Köpfe, Zierrat etc. und die Auflagen des Bundesdenkmalamtes im Kostenrahmen nicht enthalten
Fenster	Fenstererneuerung und Absturzsicherungen; Abbrechen der bestehenden Fenster und Versetzen von neuen Holz-Alu-Fenstern inkl. Sonnenschutz - an allen Seiten mit Ausnahme der Nordseite - und Tausch der Sohlbänke - inkl. Kellerfenster
Heizungsanlagen	Ergänzung der Heizanlage lt. Raumbuch mit Steuerung, Regelungen, Anbindungen, Pumpen und Regelkreisen; Nach Erfordernis Kesseltausch und Tausch der Rippenheizkörper auf Flachheizkörper mit Thermostatventilen
Kanäle	Erstellung von Kanalgutachten/ Befunden; Abstimmung von festgestellten Mängeln im Zusatzpaket

Keller	Sanierungsmaßnahmen im Keller: Kellerräumung, Putzabschlagen, Fugen auskratzen, brandschutztechnische Verbesserungen, Versehen der Lagerräume mit Brandschutztüren. Trägersanierungen, Einbau einer Sicherheitsbeleuchtung und ev. Trockenlegung von feuchten Kellern
Klassenabfallstränge	Erneuerung der Klassenabfallstränge und Verfließung der Nassbereiche; bei Bedarf Waschtischerneuerung
Portale	Sanierung der bestehenden Haupteingangsportale und Nebeneingänge
Statik	Erforderliche Maßnahmen lt. Anforderungen eines zu erstellenden statischen Gutachtens
Warmwasseranlagen	Herstellung einer zentralen Warmwasserbereitungsanlage
WC-Gruppen und Behinderten-WCs	WC-Gruppen-Instandsetzung inkl. Erneuerung Abfallstränge, Bodenfliesen, Wandfliesen, Hängedecken, Malerei, Sanitär- und Elektroinstallation und Sanitärgegenständen; Einbau einer mechanischen Entlüftung; pro Geschoss Errichten eines Behinderten-WCs bzw. Lehrer-WCs

Tabelle 11: Maßnahmenkatalog im Rahmen des SUSA⁹¹ nach (Dubisch, et al. 2012)

Zusatzpaket zum Maßnahmenkatalog im Rahmen des SUSA

MASSNAHME	BESCHREIBUNG
Sanierung von Turnsälen samt Nebenräumen	Sanierung von Turnsälen und Nebenräumen inkl. aller notwendigen Nebenleistungen bei Erfordernis zweiter Fluchtweg und Barrierefreiheit bzw. ev. laut Veranstaltungsrecht
Sanierung von Außenanlagen	Sanierung von Außenanlagen, Einfriedungen, Spielgeräten, Unterkonstruktionen, Spielplätzen, Schulgärten, Hofmauern, Feuermauern, Bewässerungen, Gerätehütten, Schneeräumgerätehütten und Terrassen
Sanierung von schadhafte Böden	Sanierung oder Erneuerung schadhafter Böden aller Art im gesamten Schulgebäude (Räume, Gänge und Stiegenhäuser)
Sanierung von Physiksälen und Schulküchen	Sanierung und Standardanhebung von Physiksälen und Schulküchen inkl. aller damit verbundenen Maßnahmen
Schaffung neuer Klassen	Schaffung neuer Klassen- bzw. Funktionsräume im Gebäude ohne Auflösung von Klassenreserven und Aufteilung bzw.

⁹¹ www.wien.gv.at/verwaltung/schulen/schulsanierung.html / Zugriff 09.01.2014

	Umbau von Klassen in Gruppenräume, Kleingruppenräume, Bibliotheken oder Vergrößerung von Verwaltungsräumen
Schaffung beziehungsweise Sanierung von Funktionsräumen	Im Kontext der geplanten Baumaßnahmen wie Ausmalung, Böden, Heizung, Waschtischplätze etc. sind bei Bauvorbereitungen Erneuerung von vorher nicht berücksichtigter Elemente der Elektroinstallation, Deckenkonstruktionen, Beleuchtungskörper, Heizanlage oder Innenausbau zu integrieren. In dieser Position können sich sinnvolle und notwendige Themen wiederfinden, ohne dass jedoch eine Generalsanierung angestrebt wird; Schaffung von Funktionsräumen aller Art wie Werkstätten, Mehrzweckräume, Zentralgarderoben, EDV – Räume, Medienräume, Gruppenräume, Räume für Nichtlehrpersonal. Adaptierung von Verwaltungsräumen bei Durchführung von erforderlichen Maßnahmen wie Durchbrüchen, Ausmalung, Anpassung der Elektroinstallation etc.
Umbau ehemaliger Dienstwohnungen	Umbau von ehemaligen Dienstwohnungen
Maßnahmen zur Barrierefreiheit	Eingänge; Lifte und Aufstiegshilfen; Türbreiten etc.

Tabelle 12: Zusatzpaket zum Maßnahmenkatalog im Rahmen des SUSA⁹² nach (Dubisch, et al. 2012)

Durch die Vielzahl an unterschiedlichen Maßnahmen ist der Koordinationsaufwand entsprechend hoch. Je nach Sanierungsaufwand müssen bis zu 16 verschiedene Abteilungen der Stadt miteinbezogen werden, wobei das Projektmanagement und die Projektsteuerung bei der MA56⁹³ liegen. Strenge Vergaberegeln und Kostenkontrolle sollen sicherstellen, dass es zu keinen überhöhten Kosten kommt. Auch wenn die Energieeffizienz nicht an erster Stelle steht, so werden doch einzelne Maßnahmen unternommen, um die Energieeffizienz zu erhöhen und eine Senkung der CO₂ Emissionen zu erzielen. Die MA 56 hat eine Klimaschutzpartnerschaft mit der Wien Energie Fernwärme initiiert, 250 Wiener Schulen sind damit bereits an das Fernwärmenetz angeschlossen (Leber 2012).

Bei der Förderung von Sanierungsmaßnahmen im Schulbau ergibt sich ein ähnliches Bild wie im Wohnungsbau: eine Analyse von geförderten Sanierungskonzepten in Wien kommt zum Schluss, dass Sanierungsmaßnahmen mit substanzerhaltenden sowie wohnungsseitigen Verbesserungen besser gefördert werden als thermisch-energetische Sanierungen. Thermisch energetische Qualitäten spielen bei den Förderungen somit nur eine untergeordnete Rolle (Bitzinger 2008).

⁹² www.wien.gv.at/verwaltung/schulen/schulsanierung.html / Zugriff 09.01.2014

⁹³ Magistratsabteilung 56: Wiener Schulen

2.3. Spezifische Anforderungen

In Abschnitt 2.2 wurde auf die allgemeinen politischen und institutionellen Rahmenbedingungen, welche die Sanierung von Schulbauten betreffen, eingegangen. Dieser Abschnitt befasst sich vorrangig mit der Fragestellung: *Was unterscheidet die Schule von anderen Gebäudetypen?* Dabei sollen die spezifischen Anforderungen sowohl im Hinblick auf die Nutzer als auch im Hinblick auf daraus resultierende energetische Parameter analysiert werden. In einem Abriss zu den **Komfortansprüchen aus physiologischer Sicht** sollen in einem ersten Schritt die Entwicklung der Anforderungen an ein gesundes Raumklima und die Auswirkungen auf die Raumanforderungen dargestellt werden. Wesentliche physiologisch bedingte Kriterien werden im Folgenden in den Abschnitten **Thermische Behaglichkeit und Raumlufqualität** sowie **Licht und Akustik** beschrieben. Auf **Räumliche und organisatorische Anforderungen**, besonders im Hinblick auf neue Schulformen, wird in diesem Abschnitt gesondert eingegangen. Den Abschluss der spezifischen Anforderungen bilden die **Leitbilder** für den Schulbau, die sich aus unterschiedlichen (Forschungs)-Projekten entwickelt haben. Diese sollen neue Ansätze für den Schulbau der Zukunft liefern und damit energetische, als auch funktional-räumliche Aspekte miteinander verbinden.

KOMFORTANSPRÜCHE AUS PHYSIOLOGISCHER SICHT - ENTWICKLUNG

Gebäude werden oft gerne die ‚dritte Haut‘ des Menschen genannt, was impliziert, dass sie uns in erster Linie Komfort, Schutz vor Witterung und Schutz vor Gefahren bieten sollen. Aus physiologischer Perspektive bedeutet dies vor allem Anforderungen an die thermische, akustische und lichtspezifische Qualität eines Gebäudes. Diese Faktoren lassen sich auf *physikalische Bedingungen* (Luftqualität, Luftbewegung, Luftfeuchte, Temperatur, Licht, Akustik), *physiologische Bedingungen* (Alter, Geschlecht, ethnische Einflüsse, Gesundheit, Konstitution, Nahrungsaufnahme) und auf *intermediäre Bedingungen* (Kleidung, Tätigkeitsgrad, Akklimatisation, Tagesrhythmus, Raumbesetzung, Psychosoziale Faktoren) zurückführen (Reiss 2010). Damit ist die *Behaglichkeit*, die wir in einem Raum verspüren, bis zu einem gewissen Grad subjektiv.

Die physikalischen Bedingungen – Licht, Luft und Akustik - werden wesentlich von der Architektur und übergeordnet dem städtebaulichen Kontext beeinflusst. So steht z.B. in der *Sonnenbaulehre des Dr. Faust*⁹⁴ die passive Nutzung der Sonnenenergie im Zentrum der Architektur um für die Bewohner ein angenehmes und gesundes Umfeld zu gestalten. Die Gebäude sind mit ihrer Längsachse nach Süden orientiert und haben genügend Abstand zu benachbarten Gebäuden um die Verschattung gering zu halten (Treberspurg 1994).

Aufbauend auf den städtebaulichen Konzepten lassen sich die wesentlichen Einflussfaktoren der physikalischen Bedingungen durch eine integrale Planung von

⁹⁴ Bernhard Christoph Faust, 1755-1842, deutscher Arzt; schrieb den ersten *Gesundheitskatechismus zum Gebrauch in Schulen und beim häuslichen Unterricht und begründete die Sonnenbaulehre*, die sich mit dem Zusammenhang zwischen Gesundheitszustand und Wohnverhältnissen auseinandersetzt; nach (Treberspurg 1994) und www.wikipedia.org / Zugriff 14.05.2015

Gebäudetechnik und Architektur maßgeblich beeinflussen. Im Folgenden wird vor allem auf die thermischen sowie die lichtspezifischen Aspekte eingegangen.

Erste Überlegungen zu einer ausreichenden Belichtung bzw. Belüftung der Klassenräume werden von Lange in (Lange 1967) bereits den letzten Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts zugeschrieben. Dabei werden in erster Linie jedoch lediglich Angaben zu Raumhöhen, Raumtiefen und Volumina gemacht, die noch nicht notwendigerweise auf die Qualität des Raumes schließen lassen. Bestimmungen und Überlegungen zu architektonischen und städtebaulichen Anforderungen an Schulhäusern im deutschsprachigen Raum in dieser Zeit wurden von Klasen in seinem Handbuch ‚Grundriss Vorbilder von Schulgebäuden‘ (Klasen 1884) zusammengefasst:

„...Nach dem Erlass vom 9. Juli 1872 soll in Österreich das Schulhaus auf einem trockenen Platze und womöglich in der Mitte des Schulbezirkes stehen. Bei der Auswahl der Baustelle ist die Nachbarschaft von Sümpfen und anderen stehenden Gewässern, von Dungstätten und Kirchhöfen sowie die Nähe geräuschvoller Plätze und Straßen, dann lärmender, luftverderbender und stauberregender Gewerbe, endlich jede Umgebung zu vermeiden, welche die Zwecke des Unterrichts stören, die Gesundheit bedrohen oder sittliches Ärgernis geben könnte...“⁹⁵

Auch die Aspekte der Belichtung und Belüftung, die einen wesentlichen Einfluss auf Energiekonzepte der aus dieser Zeit noch bestehenden Schulen haben, werden von Klasen zitiert (Klasen 1884):

„... §9. Bei Anlage der Fenster ist zu beachten, dass das Eindringen von direktem oder durch naheliegende Gebäude reflektiertem Sonnenlicht während der Schulzeit möglichst vermieden wird. Sogenannte Marquisen empfehlen sich vorzugsweise bei direkt einfallendem Sonnenlicht zum Schutze, da sie das Öffnen der Fenster gestatten. Die Rouleaus werden am zweckmäßigsten aus mattgrauem Stoff hergestellt. Das Licht soll den Schülern zur linken Seite und etwa noch vom Rücken her einfallen: Fenster in der Kathederwand sind gänzlich unzulässig und die Anlage von Fenstern in beiden Langseiten ist nur in besonderen Fällen ausnahmsweise statthaft. Das Schulzimmer wird umso besser beleuchtet, je höher das Licht von oben einfällt und sind die Fenster deshalb so hoch gegen die Decke zu führen als konstruktiv zulässig ist. Die Gesamtfläche der lichten Fensteröffnungen muss bei vollkommen freier Lage mindestens 1/6 der Bodenfläche betragen; bei Beschränkung des Lichts durch Nachbargebäude, Bäume etc. ist die Fensterfläche verhältnismäßig zu vergrößern. Die Wandfläche zwischen zwei Fenstern darf nicht über 1,25m breit sein. Sämtliche Fenster müssen vollständig geöffnet werden können.

§11. In jedem Schulzimmer ist für gehörige Lüfterneuerung auch während der Unterrichtsstunden Sorge zu tragen. Da das Öffnen der ganzen Fenster in der Regel nicht zu gestatten ist, so sind die Oberlichter der Fenster zu einzurichten, dass sie um eine horizontale Axis drehbar sind. In der gegenüberliegenden Wand sind annähernd in gleicher Höhe eine entsprechende Anzahl verschließbare Gegenöffnungen anzubringen.

⁹⁵ Für die Zitate der Texte aus (Klasen 1884) wurde auf Grund der besseren Lesbarkeit die aktuelle deutsche Rechtschreibung angewendet

*Sodann ist auch bei Anlage der Heizvorrichtung stets darauf Bedacht zu nehmen, dass eine ausgiebige Abführung verbrauchter und Einführung frischer Luft stattfindet. Ersteres ist durch Anlage von Ventilationsröhren in der Nähe oder in Verbindung mit dem Schornsteinrohr zu bewirken. Letzteres geschieht am zweckmäßigsten durch einen unter dem Fußboden anzulegenden Luftkanal, welcher die frische Luft von außen dem zwischen Ofen und Mantel befindlichen, oben offenen Raum zuführt. Sowohl dieser Luftkanal wie die Abzugsrohre sind mit stellbaren Klappen oder Schiebern zu versehen. Bei Anlage von Zentralheizungen ist stets gleichzeitig auf Herstellung eines Ventilationssystems Bedacht zu nehmen...*⁹⁶ Bestimmung der Königlichen Regierung zu Düsseldorf, §9 und 11 (Klasen, ebd.).

Budde beschreibt dazu auch in (Budde und Theil 1969), dass angestrebt werden soll *„...die Luftverhältnisse im Raum möglichst denen der natürlichen Außenluft anzugleichen...“* und führt dazu zahlreiche Untersuchungen zu Strömungssituationen bei ein- oder zweiseitiger Belüftung von Klassenräumen an. Ebenso werden Analysen zu unterschiedlichen Raumformen und Reflexionsgraden der Oberflächen in Bezug zur Tageslichtqualität angeführt (Budde und Theil 1969).

Ende der siebziger Jahre, als eine Tendenz Richtung Großraumschulen einsetzte, wird die Maximierung der natürlichen Belichtung der Klassenräume gegen den Wunsch nach größeren Raumtiefen eingetauscht. *„...Nun war es eher möglich, sich auch bei großer Klassenraumtiefe auf einseitige Belichtung oder sogar nur auf Oberlichter zu beschränken...“* (Kroner 1978). Im Sinne einer flexibleren Gestaltung und Aneinanderreihung von Raumtypologien war dies sicherlich hilfreich. Den physiologischen Anforderungen nach (Sonnen)licht und Ausblick wurde diese Entwicklung jedoch nicht gerecht. In den aktuellen ÖISS Richtlinien ist demnach auch aus *„...betriebswirtschaftlichen und psychologischen Gründen eine größtmögliche Ausnutzung von natürlichem Licht anzustreben...“* (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012)

THERMISCHE BEHAGLICHKEIT UND RAUMLUFTQUALITÄT

Komfort ist nicht nur gekoppelt an externe Einflussfaktoren, sondern auch in einem hohen Masse abhängig von dem momentanen physischen und psychischen Zustand des Menschen und damit auch subjektiv. Eine Annäherung an eine Objektivierung der thermischen Behaglichkeit erfolgt durch die Normierung.

Die thermische Behaglichkeit im Innenraum ist gemäß der Deutschen Industrienorm (DIN) wie folgt definiert: *„...Thermische Behaglichkeit [...] ist gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht...“*⁹⁷

In dieser Norm werden die Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität folgendermaßen beschrieben (Tabelle 13):

⁹⁶ Für die Zitate der Texte aus (Klasen 1884) wurde auf Grund der besseren Lesbarkeit die aktuelle deutsche Rechtschreibung angewendet

⁹⁷ DIN 1946 / Teil 2 (1994) Raumlufttechnik Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln)

Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität

ART	IN ABHÄNGIGKEIT VON:
Personen	Tätigkeit Bekleidung Aufenthaltsdauer Thermische und stoffliche Belastung (z.B. Gerüche) Belegung (Anzahl)
Raum	Temperatur der Oberflächen Lufttemperaturverteilung Wärmequellen Schadstoffquellen
Raumlufttechnische Anlagen	Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte Luftaustausch Reinheit der Luft (Aerosole und Gerüche) Luftführung

Tabelle 13: Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität nach DIN 1946 / Teil 2 (1994)

Die Raumlufttemperatur kann (und soll) dabei in Abhängigkeit von der Außenluft variieren wie in Abbildung 21 nach DIN 1946 / Teil 2 dargestellt. Der Bereich empfohlener Raumtemperaturen fällt in den roten Bereich; der gelbe Bereich oberhalb beschreibt, dass bei hohen Außenlufttemperaturen im Sommerbetrieb und bei kurzzeitig auftretenden hohen thermischen Lasten ein Anstieg der operativen Raumtemperatur zugelassen wird.

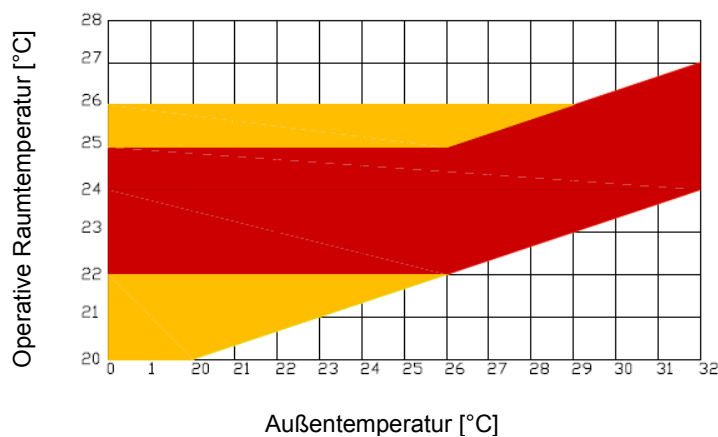


Abbildung 21: Bereiche operativer Raumtemperaturen nach DIN 1946 / Teil 2

Der gelbe Bereich unterhalb beschreibt, dass bei bestimmten Lüftungssystemen (z.B. Quelllüftung) operative Raumtemperaturen zwischen 20°C und 22°C zugelassen werden. Die angegebenen Werte beziehen sich dabei auf leichte Aktivitäten (Aktivitätsstufe I und II⁹⁸) und leichte bis mittlere Bekleidung.

Als angenehm empfundene Werte für die Luftfeuchte wird in (GremI 2008) 30-70% Luftfeuchtigkeit bei 22°C Raumtemperatur angegeben. Als Voraussetzung für ausreichende Feuchtwerte im Innenraum werden dabei sowohl eine dichte Gebäudehülle als auch eine Anpassung der Luftmenge an die Schülerzahlen bestimmt. In Abbildung 22 ist die Behaglichkeit in Relation zu Temperatur und Luftfeuchte dargestellt.

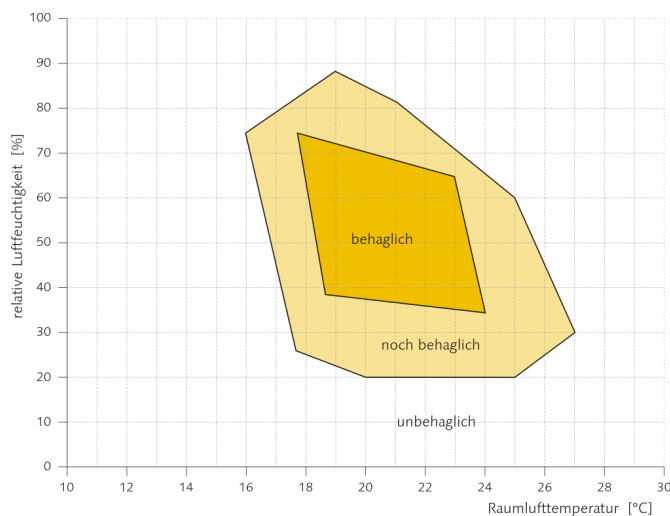


Abbildung 22: Behaglichkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte⁹⁹

Um höhere Feuchtwerte in Klassenräumen zu erreichen, werden in (GremI 2008) drei Lösungsmöglichkeiten angeführt: Erhöhung der Feuchtwerte z.B. durch Pflanzen (Problematik der erhöhten Feuchtwerte in den Sommermonaten sowie Betreuung der Pflanzen während der Ferien), hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung und hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung (in der Klasse oder durch ein Lüftungssystem).

Wesentliche Aspekte der Behaglichkeit in Innenräumen sind auch auf die Qualität der Raumluft zurückzuführen. „...Die Konzentration von CO₂ in Innenräumen dient vor allem als allgemeiner Indikator für die Gesamtmenge der vom Menschen abgegebenen organischen Emissionen und Geruchsstoffe. Als Produkt der menschlichen Atmung ist der CO₂-Gehalt der Innenraumluft daher unmittelbar Ausdruck der Intensität der Nutzung eines Raumes. Die von Menschen abgegebene CO₂-Menge korreliert nicht nur mit der Geruchsintensität von menschlichen Ausdünstungen, sondern auch direkt mit der Menge an flüchtigen organischen Verbindungen, die wiederum – zumindest zum Teil – als Träger des vom Körper ausgehenden Geruchs angesehen werden können...[...] Es wurde

⁹⁸ Aktivitätsstufe I: Statische Tätigkeiten im Sitzen wie Lesen und Schreiben; Aktivitätsstufe II: sehr leichte körperliche Tätigkeit im Stehen oder Sitzen; nach DIN 1946 / Teil 2 (1994)

⁹⁹ www.ecobine.de / Zugriff 14.03.2015; Grundlagen des Ökologischen Bauens, Bauhaus-Universität Weimar, Glücklich, D.

vorgeschlagen, die Korrelation zwischen der Menge an CO₂ und der Menge an flüchtigen organischen Verbindungen, die von einem Menschen abgegeben werden, zur Bewertung der Raumluftverhältnisse heranzuziehen...“ (Boos, et al. 2011).

Die CO₂-Werte lassen sich relativ leicht durch CO₂ Sensoren ermitteln und geben dadurch wertvolle Rückschlüsse auf hygienisch unzureichende Raumluft. Demnach wird die CO₂-Konzentration sowohl für die Auslegung und Steuerung lüftungstechnischer Anlagen eingesetzt als auch als Indikator für die Steuerung der natürlichen Lüftung (z.B. Stoßlüftung in Klassenräumen).

In der Richtlinie des BMLFUW zur Bewertung der Innenraumluft wird ein Klassifizierungsschema für die CO₂-Konzentration mit einer Bewertung und Einordnung nach ÖNORM angegeben (Boos, et al. 2011), siehe Tabelle 14:

Klassifizierung der Innenraumluftqualität im Hinblick auf die CO₂-Konzentration

BEURTEILUNGSWERT ALS CO ₂ -KONZENTRATION (absolut)	BESCHREIBUNG DER INNENRAUMLUFTQUALITÄT:	ENTSPRICHT KLASSIFIZIERUNG NACH ÖNORM EN 13799
< 400 [ppm]	Hohe Raumluftqualität	IDA ¹⁰⁰ 1
401 – 600 [ppm]	Mittlere Raumluftqualität	IDA 2
601 – 1000 [ppm]	Mäßige Raumluftqualität	IDA 3
1001 – 1500 [ppm]	Niedrige Raumluftqualität	IDA 4
> 1500 [ppm]	Sehr niedrige Raumluftqualität	

Tabelle 14: Klassifizierung der Innenraumluftqualität im Hinblick auf die CO₂-Konzentration nach (Boos, et al. 2011)

Für die CO₂-Belastung in Innenräumen von Schulen werden nach den ÖISS-Richtlinien nicht mehr als 1500ppm (sowohl für natürlich als auch für mechanische Be- und Entlüftungsanlagen) vorgeschrieben. Um Zuglufterscheinungen sowie einen erhöhten Energieverbrauch zu vermeiden, wird ein maximaler Wert von 1000ppm empfohlen (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012).

Griffithsa & Eftekharib haben in einer Studie mehrere Varianten der Belüftung von Klassenzimmern in Bezug auf CO₂ und thermischen Komfort analysiert und kamen zum Schluss, dass eine alleinige Spaltlüftung nicht ausreicht, um CO₂-Werte unter 1500ppm zu erreichen. Eine Stoßlüftung von 10min kann die CO₂-Konzentration bereits um 1000ppm reduzieren ohne den thermischen Komfort zu beeinträchtigen. Simulationen haben allerdings gezeigt, dass zwei Stoßlüftungen in einer Einheit nicht ausreichen, um dauerhaft adäquate CO₂-Werte zu erreichen. Darüber hinaus hat sich herausgestellt, dass die

¹⁰⁰ Indoor Air

Schüler und Lehrer die Lüftungsintensität weniger nach Luftqualität als nach thermischem Komfort steuern (Griffithsa und Eftekharib 2007). Zu einem ähnlichen Schluss kommt auch Santamouris in einer Untersuchung von 62 natürlich belüfteten Klassenräumen in Griechenland, die er mit Daten von 287 natürlich und 900 mechanisch belüfteten Klassenräumen aus anderen Studien verglich: in 45% aller Fälle wird das Fenster bei einer CO₂-Konzentration unter 1000ppm geöffnet, in 70% unter 1500ppm und in 18% über 2000ppm. Die Fenster wurden vor allem bei überhöhten Temperaturen und in den Pausen geöffnet, unabhängig von der CO₂ Konzentration (Santamouris, et al. 2008).

Ausführungen zu Lüftungssystemen und Varianten der natürlichen und mechanischen Lüftung sind in Abschnitt 2.6 zu finden.

LICHT

Ein weiterer wichtiger physiologischer Faktor ist die Qualität des Lichts im Innenraum. Natürliches Licht ist dabei nicht nur aus energieperspektivischer Sichtweise, sondern auch unter dem physiologischer Aspekt dem Kunstlicht - sofern möglich - vorzuziehen. Die verschiedenen Wellenlängen des Sonnenlichts bewirken eine Vielzahl positiver Auswirkungen auf den menschlichen Organismus: Ultraviolettes (UV)-A Licht initialisiert die Bräunungsreaktion der Haut, UV-B-Licht fördert die Synthese von Vitamin D und die Resorption von Kalzium und anderen Mineralien, die UV-C Strahlung tötet Bakterien, Viren und Infektionserreger. Anderen Erkenntnissen zufolge wirkt UV-Strahlung gegen Bluthochdruck und verbessert Elektrokarogramm (EKG) - und Blutwerte und wirkt besonders bei Kindern gegen Rachitis. (Libermann 1993).

Aus einer 2009 durchgeführten Dissertation die Potenzialstudien zur *Photophysiologie im Innenraum und Licht und thermischer Optimierung* enthält, wurden zwei Empfehlungen abgeleitet: „...Alle Gebäude, deren Funktion einen langfristigen Aufenthalt der Nutzer in Innenräumen bedingt, sind derart mit dem Außenraum zu verbinden, dass ein regelmäßiger und ausreichender Konsum von ungefilterter Sonnenstrahlung sichergestellt werden kann. Spezifisch zu berücksichtigen sind die Funktionen der Gebäude wie Wohnen, Arbeiten, Pflegen, Betreuen, Bilden und Vergleichbare...“ und ...Die terrestrische Sonnenstrahlung erreicht den Innenraum, nach dem Durchgang durch technische Funktionsglasschreiben quantitativ und in seiner physiologischen Wirksamkeit auch qualitativ reduziert. Deshalb wird empfohlen, gegenüber der gängigen Planungspraxis das Angebot an Tageslicht im Innenraum generell und das an direkter Sonnenstrahlung speziell zu erhöhen...“ (Hammer und Holzer 2009).

Zudem ist Solarstrahlung auch für das Gebäude gut: vor allem in der kalten Jahreszeit kann es zu einer zusätzlichen (gewollten) Erwärmung der Innenräume kommen (passive Nutzung des Solarstrahlung). Das hat eine gute Austrocknung der Gebäude zur Folge und Bakterien sowie andere Mikroorganismen sind nach direkter Sonnenexposition nach kurzer Zeit abgetötet. Tageslicht und vor allem auch direktes Sonnenlicht sind demnach aus vielerlei Hinsicht wichtig für ‚gesunde‘ Klassenräume. Einflussparameter einer qualitativ hochwertigen natürlichen Belichtung sind dabei: Anteil an diffusem bzw. direktem Licht, Lichtintensität, Strahlungsintensität, Vermeidung von Blendung, Sonneneinstrahlung

im Lauf der Tages- und Jahreszeiten, Schattenwurf im Raum, sommerliche Überwärmung und Verteilung des Tageslichts im Raum sowie die Raumgeometrie (Raumtiefe, Raumbreite, Raumhöhe, Form) als auch die Innenraumreflexion (helle, dunkle Farben, Möbel etc.).

Bereits 1887 wurde im Werk von C. Hinträger zur inneren Einrichtung von Schulgebäuden (Hinträger 1887) auf die Wichtigkeit einer adäquaten natürlichen Belichtung eingegangen: „...das zur Beleuchtung am besten geeignete Licht ist das vom Horizont kommende, wie viele augenärztliche Autoritäten bestätigen, und soll man daher bei Schulgebäuden stets trachten, dieses dem Auge zuträglichste Licht zu erhalten. Nicht allein aus diesem Grunde, sondern auch wegen vielen anderen Ursachen technischer Natur wäre es daher verfehlt, eine Beleuchtung der Schulzimmer durch Oberlicht einführen zu wollen. Dem einzigen Vorteil dieser Beleuchtungsart, nämlich der Unabhängigkeit in der Stellung der Lehrzimmer gegen die Weltgegend, stehen zahlreiche Nachteile gegenüber, wie die Notwendigkeit einer durchgehend ebenerdigen Anlage, die Übelstände bei Regen und Schneefall, die Kostspieligkeit entsprechender Konstruktionen, die Erzeugung von Selbstschatten beim Schreiben,...“ Interessant ist darüber hinaus der Nachsatz: „...Da der Wechsel der Jahreszeiten auf Luft, Licht und Wärme der Schulräume von großem Einfluss ist, so wäre eigentlich die Anlage von Sommer- und Winterlehrzimmern wünschenswert, wobei jedoch die Bauökonomie unberücksichtigt blieb...“ (Hinträger 1887)

Generell herrscht in vielen Schulen, auf Grund der Entwicklung zur typischen ‚Gangschule‘ (siehe auch Abschnitt 2.1 / Geschichtlicher Abriss), die einseitige Belichtung vor. Die zweiseitige Belichtung bedingt eine einheitlichere Verteilung des Tageslichts im Innenraum, bietet differenziertere Ausblicke und ermöglicht unterschiedliche Möblierungskonfigurationen.

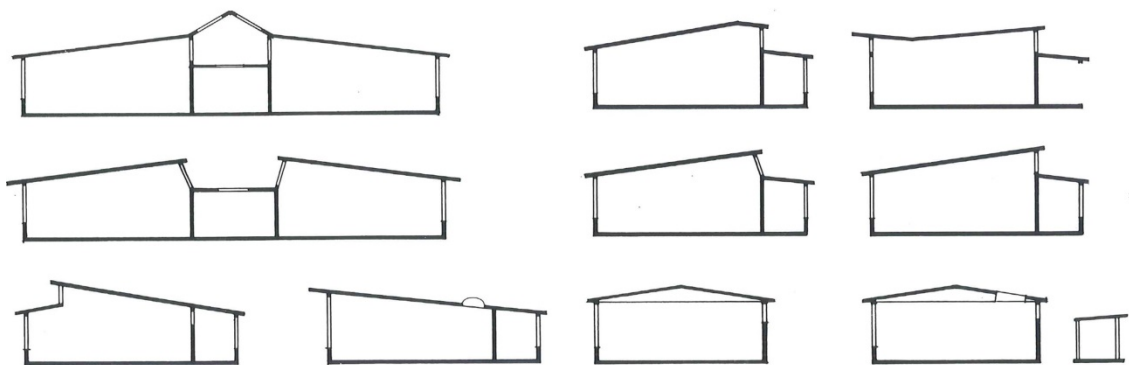


Abbildung 23: Zweiseitige Belichtung bei eingeschossiger Bauweise (Berger 1960)

Berger hat dazu bereits in den 60er Jahren typische Konfigurationen für die zweiseitige Belichtung dokumentiert, die sowohl für ein-, als auch mehrgeschossige Bauweise anwendbar ist (Berger 1960) - siehe Abbildung 23.

Im dichten urbanen Gebiet bilden diese Ansätze eine Herausforderung. Dennoch sollten vor allem in der Sanierung tageslichtoptimierte Konzepte umgesetzt werden.

In den einschlägigen Normen und Richtlinien gibt es keine spezifischen quantitativen Anforderungen. Es werden jedoch Parameter für die Auslegung der Räume definiert, um den Anteil an natürlichem Licht in den Klassenzimmern zu erhöhen. In den ÖISS-Richtlinien für den Schulbau werden die in Tabelle 15 dargestellten Kriterien empfohlen.

ÖISS Empfehlungen zur natürlichen Belichtung von Klassenzimmern

BEREICH	BESCHREIBUNG
Raumgeometrie	Raumhöhe mindestens 3,2 m
Belichtung	<p>Idealerweise von zwei Seiten, an den beiden Längswänden</p> <p>Bei Raumtiefen von mehr als 8m ist eine beidseitige Belichtung erforderlich</p> <p>Große Leuchtdichteunterschiede zwischen Fensterhelligkeit und geringerer Helligkeit des Innenraumes sollten vermieden werden</p> <p>Auf einen möglichst gleichmäßiger Tageslichtverlauf ist zu achten (dafür können auch geeignete Tageslicht-Umlenksysteme genutzt werden)</p> <p>Gleichmäßige Belichtung über die gesamte Länge der Fensterwand, Mauerpfeiler sollten nicht breiter als 1m sein</p>
Fensterflächen	<p>1/6 bis 1/5 der Fußbodenfläche (bei freiem Lichteinfall)</p> <p>1/5 bis 1/4 der Fußbodenfläche (bei eingeschränktem Lichteinfall)</p>
Tageslichtquotient	Mindestens 1%
Direkte Einstrahlung	Eine natürliche Besonnung ist empfehlenswert; ein einstellbarer Sonnen- und Blendschutz ist vorzusehen

Tabelle 15: ÖISS Empfehlungen zur natürlichen Belichtung von Klassenzimmern (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012)

In der BREEAM¹⁰¹-Gebäudezertifizierung im Schulbau werden auch quantitative Angaben zur Tageslichtqualität angeführt: 80% der nutzbaren Fläche müssen adäquat natürlich belichtet sein, um Punkte im Bereich Tageslicht zu erhalten. Adäquat wird darin wie folgt definiert: Durchschnittlicher Tageslichtquotient von 2% und Uniformitätsrate von zumindest 0,4 oder einem punktuellen Tageslichtquotienten von 0,8% (wobei Räume mit Oberlichtern wie z.B. Atrien eine Uniformitätsrate von zumindest 0,7 und einen minimalen punktuellen Tageslichtquotienten von 1,4% aufweisen müssen) oder einem *view of the sky* von der Tischhöhe (0,7m) und einer adäquaten Raumtiefe. Die Definitionen sind in Tabelle 16 angeführt (BRE 2012). Eine Beschreibung des BREEAM-Systems ist in Abschnitt 2.5 / ‚Gebäudebewertungssysteme‘ zu finden.

¹⁰¹ Building Research Establishment Environmental Assessment Method

Definitionen zur Bewertung einer angemessenen Tageslichtqualität im Innenraum nach BRE¹⁰²

KRITERIUM	DEFINITION	EINHEIT / FORMEL
Durchschnittlicher Tageslichtquotient	Der Tageslichtquotient beschreibt das Verhältnis zwischen der <i>Beleuchtungsstärke</i> an einem gegebenen Punkt (normalerweise auf der <i>Arbeitsebene</i>) im Innenraum zur unverschatteten Beleuchtungsstärke im Freien, unter dem gleichen <i>bedeckten Himmel</i> , wie z.B. mit der CIE-Verteilungskurve.	Einheit: % $DF = T \cdot A_w \cdot \Theta / A \cdot (1-R)$ T = diffuse Lichttransmission der Verglasung A _w = Fensterfläche (netto) A = Summe interne Oberflächen (Wände, Decken, Boden) R = durchschnittliche interne Reflexion Θ = Winkel des sichtbaren Himmels
Beleuchtungsstärke	Lichtleistung / Fläche	Einheit: Lux
Uniformitätsrate	Beschreibt das Verhältnis der minimalen Beleuchtungsstärke (oder Tageslichtquotient) auf einer Arbeitsfläche und der durchschnittlichen Beleuchtungsstärke (oder Tageslichtquotient)	
<i>View of the Sky</i>	Bereich der Arbeitsfläche der einen direkten Blick zum Himmel hat	
Angemessene Raumtiefe	Die angemessene Raumtiefe ist erfüllt wenn folgende Formel zutrifft:	$d/w + d/H_w < 2/(1-R_B)$ d = room depth w = room width H _w = window head height from floor level R _B = average reflectance of surfaces in the rear half of the room.

Tabelle 16: Definitionen zur Bewertung einer angemessenen Tageslichtqualität im Innenraum nach (BRE 2012)

Der Tageslichtquotient ist dabei einer der Schlüsselwerte in der quantitativen Analyse des Tageslichtes für ein Gebäude. Da die Außenbeleuchtungsstärken mit den meteorologischen Bedingungen stark schwanken (bei bedecktem Himmel zwischen 8.000 und 25.000 lx), hat die absolute Innenbeleuchtungsstärke zu einem bestimmten Zeitpunkt nur eine beschränkte Aussagekraft. Ob eine bestimmte Menge an Tageslicht im

¹⁰² Building Research Establishment

Innenraum für eine bestimmte Aufgabe ausreicht, kann nur im Vergleich zur gleichzeitigen Außensituation festgelegt werden. Der Vergleich von Innen- und Außenbeleuchtungsstärken bei sonnigem Himmel ist in den meisten Fällen von geringer Aussagekraft. Der Tageslichtquotient wird durch die lichte Fensterfläche, die Lichttransmission der Verglasung, die Summe der internen Oberflächen, die Reflexion des Innenraumes sowie den Winkel des sichtbaren Himmels beeinflusst.

Bei der Gestaltung der Klassenzimmer ist aber vor allem auch die Gesamtheit der Belichtung des Raumes zu betrachten. In der Planung sollte bestrebt werden, alle Einflussparameter (Anteil an direktem Sonnenlicht, Lichtverteilung, etc.) in Einklang zu bringen. Für eine eingehende Beurteilung der Qualität des Tageslichts im Innenraum empfiehlt sich eine beispielhafte simulationsunterstützte Analyse der Klassenzimmer.

Vor allem in der Sanierung ist auf die durch Umbauten verursachte geänderte Tageslichtbedingungen Rücksicht zu nehmen. So verändern größere Dämmdicken an der Außenwand die Laibung der Fenster und können - bedingt durch ‚dickere‘ Wände - die Tageslichtsituation im Innenraum negativ beeinflussen. Eine zweiseitige Belichtung kann auch über Öffnungen zu den Erschließungsgängen bewerkstelligt werden. In der Volksschule Hof in Vorarlberg (siehe Annex Projektbeispiel 11) wurden Oberlichter zwischen Gang und Klassenräumen eingefügt. Bei der Nutzung von unterirdischen Räumen durch Zu- und Umbauten können horizontale Fensterflächen in den Decken sowie Lichtlenksysteme den Tageslichtanteil erhöhen. In der Hannah Arendt Schule in Bozen (siehe Annex Projektbeispiel 15) wird über speziell entwickelte Lichtlenksysteme Tageslicht bis 12m unter die Erde gebracht. Zu beachten ist dabei, dass Lichtlenksysteme mit reflektierenden Flächen arbeiten und damit nur den direkten Anteil des Tageslichts (gerichtete Strahlung) reflektieren können, nicht aber den diffusen (oder gestreuten) Anteil des Tageslichts.

AKUSTIK

Veränderte Nutzungsbedingungen und fließende Übergänge von Lern-, Bewegungs- und Ruhebereichen bedingen auch ein Umdenken der akustischen Konzepte. Dabei gilt es sowohl störende Schallquellen (Außenbereich, Gangbereich) als auch Nachhallzeiten im Raum selbst zu reduzieren. Auch halb-offene Bereiche, die nicht durch Wände abgeteilt sind, müssen entsprechend angepasst werden (Lorbek und Stosch, Pädagogik und Raum 2009). Dabei spielen auch geänderte Raumanforderungen eine Rolle: beim Frontalunterricht, hatte nur der Lehrer zu sprechen. Gruppenarbeit hingegen bedingt andere Ansprüche an die Raumakustik.

Im Schulbau hat Lärm sowohl eine Auswirkung auf die kognitiven Leistungen als auch auf die Sprachentwicklung der Schüler. Huber hebt in (Huber 2002) die Aspekte der Sprachverständlichkeit hervor: *...eine ausgezeichnete Sprachverständlichkeit ist die erste Anforderung an einen Raum, in dem es vor allem darauf ankommt, Wissen und Bildung durch Kommunikation zu fördern. Der Begriff der Sprachverständlichkeit kennzeichnet dabei jenen Prozess, durch den es einem Menschen ermöglicht wird, klar und deutlich zu hören, was gesagt wird, und den Kontext des gesprochenen Wortes vollkommen zu*

verstehen... Eine Studie, die Umwelt-Einflüsse und akustische Bedingungen in Schulen untersucht, kommt zum Schluss, dass mechanische Lüftungen einen erhöhten Hintergrundschallpegel zur Folge haben (Mydlarz, et al. 2013). Bei einer Sanierung müssen demnach die akustischen Bedingungen untersucht und entsprechende Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt werden. Peng hat in (Peng, et al. 2015) zusammengefasst, dass ein nachträgliches Anbringen von absorbierenden Materialien an der Decke von Klassenzimmern die Akustik (Sprachverständlichkeit und Nachhallzeiten) substantiell verbessert.

Auch wenn die Akustik keine direkte Auswirkung auf die Energieeffizienz eines Gebäudes hat, so trägt sie doch maßgeblich zum Innenraumkomfort bei und muss auch dementsprechend frühzeitig in die Planung integriert werden.

RÄUMLICHE UND ORGANISATORISCHE ANFORDERUNGEN

„...Wie aber soll nun das Gebäude aussehen, um die darin sich aufhaltenden Jugendlichen bestmöglich zu fördern, ohne zugleich neue Unterrichtsformen zu erschweren? Wissensvermittlung auf vielfältigen technisierten Wegen genügt allein nicht, den Schüler zu einem Menschen heranwachsen zu lassen, der erkenntnisfähig ist, Urteilsvermögen besitzt und Verantwortung für sich und andere zu übernehmen vermag. Indem er denken lernt und Erfahrungen sammelt, soll er fähig werden, sich zu engagieren und eine ‚Zielvorstellung‘ zu haben. Dazu gehört auch die Entwicklung seiner Phantasie und seiner Fähigkeit zu lieben...“ (Budde und Theil 1969)

Schulen sind Gebäude mit besonderen Nutzern und müssen spezifischen Anforderungen gerecht werden. Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, haben sich die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, aber auch die räumlichen Anforderungen im Laufe der Jahrhunderte sukzessive verändert. Aus der Perspektive der späten 60er Jahre beschreibt Budde anschaulich, wie sich diese Entwicklung fortsetzen könnte (Abbildung 24).

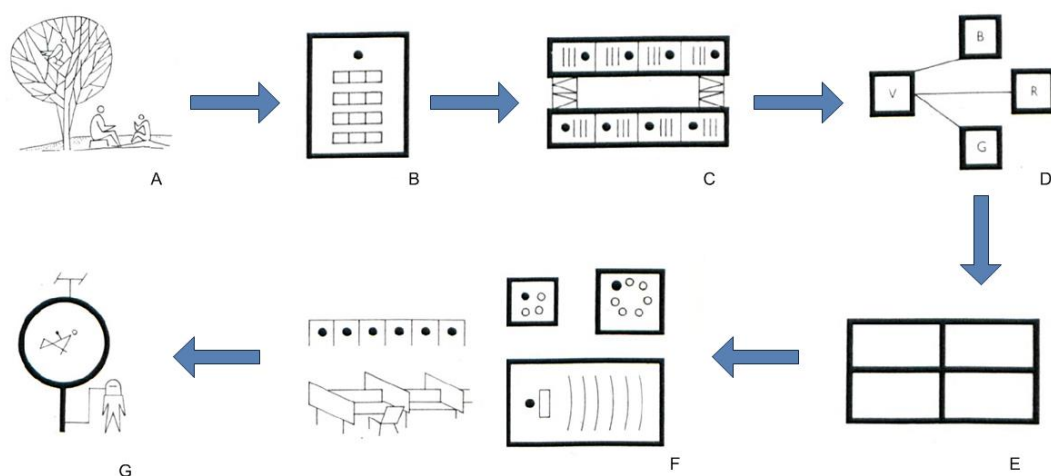


Abbildung 24: Entwicklung des abendländischen Unterrichtswesens nach (Budde und Theil 1969)

Die Einzelunterweisung (A) von Lehrer zu Schüler hat einen geringen Platzbedarf und keinen Bedarf eines Raumes. Im Mittelalter und der frühen Neuzeit war „*Ein Raum, ein Lehrer und Schüler jedes Alters*“ die Regel (B), die erst Mitte des achtzehnten Jahrhunderts von den Klassenzimmern nach Jahrgang (C) sowie der Gliederung nach Schularten (D) abgelöst wurde. Die Gesamtschule (E) entwickelte sich zu einem Bereich, in dem alle Formen des Unterrichts (Gruppen-, Seminar als auch Einzelunterricht) möglich sein sollten (F). Nach Budde entsteht daraus in Folge das „*carrel*“, welches durch technologische Hilfsmittel den Einzelunterricht nach Plan ermöglicht (G). Damit ist der Schüler unabhängig und isoliert und gewissermaßen wieder vergleichbar mit der ersten Situation (A).

Der Erfinder des „*carrels*“ nimmt sogar an dass es „...*einmal möglicherweise sogar ersetzt werden könnte durch eine Gehirnelektrode, die durch einen Arzt bei der Geburt eingepflanzt wird...*“ (Budde und Theil 1969). Dies zeigt durchaus auch deutlich die in dieser Entwicklungsperiode aufkeimende Sorge, ob und inwiefern sich die zunehmende ‚*Technologisierung*‘ negativ auf die sozialen und kommunikativen Fähigkeiten der Schüler auswirken würde (siehe auch 2.1).

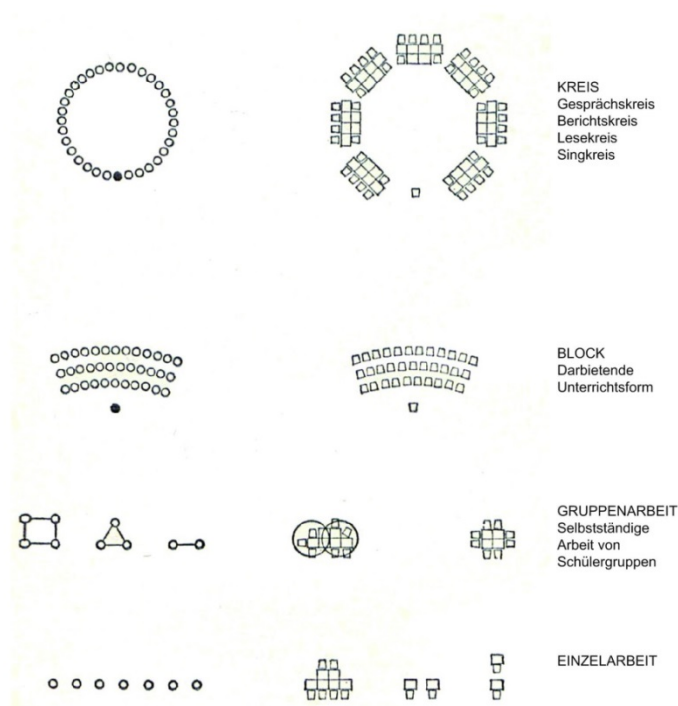


Abbildung 25: Unterrichtsformen in der Primarstufe nach (Kentner, Mayer und Schmidt-Thomsen 1972)

Anforderungen an die Raumformen lassen sich auch aus der Unterrichtsform ableiten, wobei hier nicht jede Unterrichtsform auch einen eigenen ‚Raum‘ benötigt. Die zur Verfügung gestellten Flächen sollten jedoch verschiedenen Formen der Gruppenarbeit, Einzelarbeit, Frontalunterricht und Gespräche zulassen. Kentner dokumentiert in (Kentner, Mayer und Schmidt-Thomsen 1972) diese unterschiedlichen Formen des Unterrichts in der Primarstufe - siehe Abbildung 25. Die aktuellen Anforderungen an neue räumliche Konzepte bauen nicht mehr darauf, dass der Einzelschüler via Internet remote von einer

zentralen Stelle unterrichtet wird. Sie sehen vielmehr Modelle vor, die auch soziales und kommunikatives Lernen fördern und fordern.

Richard Neutra (1892 – 1970), einer der prägendsten Architekten des letzten Jahrhunderts im Bereich des Modernismus, hat in einer Skizze für die Emerson Middle School (Los Angeles, Californien) bereits 1938 die Vision einer multifunktionalen, sich nach außen öffnenden Schule, in der natürliches Licht und ein Bezug zur Natur eine übergeordnete Rolle spielen. Die Trennung von Unterricht (innen, reglementiert) und Freizeit (außen, offen) verschwimmt dabei in dieser sehr frühen Vision einer modernen Schule, siehe Abbildung 26.

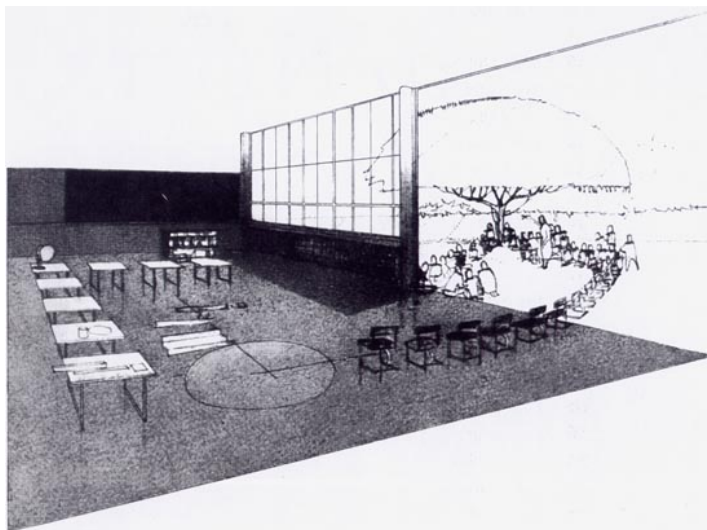


Abbildung 26: Richard Neutra, Zeichnung für die Emerson Middle School, 1938, Los Angeles, Californien ¹⁰³

„...Ein grundsätzliches Problem in allen Betreuungsformen für Schulkinder sehen ExpertInnen im Spannungsfeld zwischen den wachsenden Bedürfnissen der Kinder nach mehr Selbständigkeit und den Erfordernissen des schulischen Lernens sowie in den starren Strukturen und den fehlenden Rückzugsmöglichkeiten für die Kinder...“ (Kanatschnig 1995, 274; Lange 2004, 99ff; Muck 2006) aus (Baierl und Kaindl 2011).

Neue Raumanforderungen entstehen dabei vor allem aus den neuen Schulformen. Die traditionelle Schule trennt noch Unterricht (Vormittag) und Freizeit (Nachmittag). Der verstärkte Bedarf an Nachmittagsbetreuung bringt aber auch alleine durch diese Modelle neue Anforderungen: wo findet das Essen statt? Wo gibt es Rückzugsmöglichkeiten, um Aufgaben zu erledigen und in Ruhe zu lernen? Wo kann dem Bewegungsdrang nach Sport und Spiel nachgekommen werden? Die Ganztagschule baut dabei auf dem Konzept der Integration von Gemeinschaftsaktivitäten, Freizeitaktivitäten und schulischem Bildungsauftrag auf (Opp 2010). Für die Neu- und Umgestaltung der Schulen heißt dies auch ein Umdenken: Schul- und Freizeitgestaltung findet nicht mehr strikt getrennt in unterschiedlichen Bereichen (Innen / Außen bzw. Schule / Hort) statt, sondern soll in

¹⁰³ www.etsavega.com / Zugriff 21.08.2014

räumlicher und zeitlicher Gleichzeitigkeit von den neuen Schulgebäuden abgedeckt werden. Aus dem architektonischen Diskurs entsteht dabei eine Vielzahl an alternativen Raumkonzepten, die eine flexible und differenzierte Lernsituation in den Schulen ermöglichen.

Die Wichtigkeit, die unterschiedlichen Konzepte an die Bedürfnisse der Nutzer anzupassen, kann dabei nicht oft genug hervorgehoben werden. Die Akzeptanz der Raumkonzepte seitens der Schüler bzw. des Lehrpersonals ermöglichen es erst, Leben in die neuen pädagogischen Konzepte zu bringen. 2010 wurde im Auftrag des BMUKK¹⁰⁴ eine Studie zum *Lebensraum Schule: „Innovationspotentiale in der österreichischen Schullandschaft“* (Spiel, Schabmann, et al. 2010) durchgeführt. Dabei wurde u.a. mittels einer Befragung von 1164 Schulleitern untersucht, welche alternativen Konzepte der Schulraumgestaltung bereits in den jeweiligen Schulen vorhanden sind und welche Konzepte wünschenswert zur Unterstützung von Lehr-/Lernprozessen bzw. wünschenswert zur Förderung des Schulklimas wären. Der Wunsch nach einer veränderten Situation des Raumprogramms ist dabei evident, wobei hier der Bedarf nach einer differenzierten Lernsituation und damit mehr Flächen für offenen Unterricht, aber auch Aufenthalts- und Arbeitsräume für Lehrer besonders hervorzuheben ist - siehe Abbildung 27. Dies ist vor allem im Hinblick auf die Ganztagschule ein wichtiger Punkt: wenn Lehrer in Zukunft mehr Zeit in den Schulen verbringen sollen, muss dem auch aus einer räumlichen Perspektive Rechnung getragen werden.

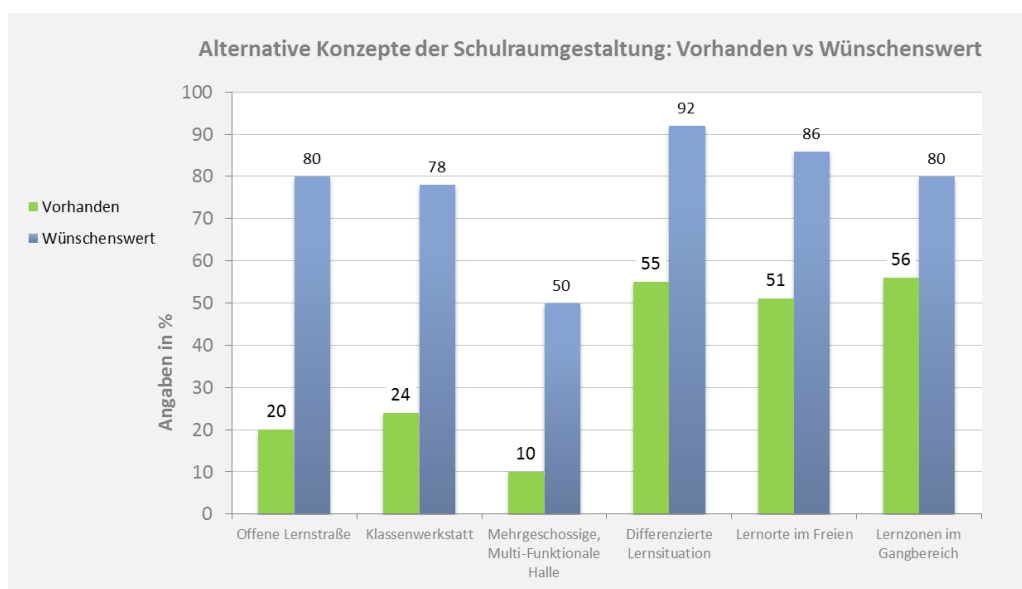


Abbildung 27: Alternative Konzepte der Schulraumgestaltung: Vorhanden vs Wünschenswert; Daten aus (Spiel, Schabmann, et al. 2010)

Eine ähnliche, aber viel kleiner angelegte Studie wurde 2013 von Franz Ryznar mit 8-10-jährigen Kindern durchgeführt, um herauszufinden, welche Raumformen die Kinder als optimalen Lernort identifizieren würden. Daraus ließen sich zwei elementare Bedürfnisse

¹⁰⁴ Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur; nach 2013 BMBF: Bundesministerium für Bildung und Frauen

identifizieren: „*Einerseits wollen sie ihren Bewegungsdrang ausleben, andererseits ein Rückzugsgebiet, in dem sie unbeobachtet sein können*“ (Goebel 2013).

Interviews mit acht Direktoren, die im Rahmen des Projekts Baustelle Schule¹⁰⁵ geführt wurden, kamen zu ähnlichen Ergebnissen wie in (Spiel, Schabmann, et al. 2010) oben beschrieben: Gefordert werden unter anderem: „...*Raum zum Wohlfühlen, differenzierte Lernsituationen, helle, gestaltbare und transparente Räume, leicht transportable modulare Schulmöblierung und Raumausstattungen, grüne Klassenzimmer und multifunktionale Räume,...*“ (Lorbek, Haselsteiner, et al. 2010).

Forster beschreibt in (Forster 2000), dass „...*Wirkungen des umgebenen Raumes auf das Verhalten von Kindern am Beispiel der sozialen Dichte aufgezeigt wurden. Die den Kindern zur Verfügung stehende Raumfläche ist eine wichtige Einflussvariable von Wohlbefinden sowie des motorischen und sozialen Verhaltens. Eine hohe soziale Dichte führt in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen zu Vermeidungsverhalten, zu vermehrten Alleinspiel und unter Umständen zu mehr aggressiven Verhalten der Kinder...*“ Ein Flächenbedarf von 5m² / Kind wird dabei als Mindestanforderung empfohlen.

„...*Ein Umfeld zu schaffen, das Lehrern ermöglicht, selbst gerne und mit Freude zu lernen...*‘ und „...*das Interesse und die Neugier der Kinder stehen im Mittelpunkt und nicht das vom Lehrplan diktierte Wissen...*“ beschreibt Salcher in seiner durchaus kritischen Abhandlung in (Salcher 2008) als wesentliche Merkmale einer Schule, die den natürlichen Lerntrieb der Kinder in den Vordergrund stellt.

Die Raumanforderungen ergeben sich auch durch die verstärkte Zusammenarbeit der unterschiedlichen Stakeholder¹⁰⁶. Ein Paradigmenwechsel tritt hier durch die Einbindung der Pädagogen, Schüler und Eltern ein: Wurde traditionell die Architektur von der Pädagogik im Planungsprozess weitgehend getrennt, ist eine gemeinschaftliche Erarbeitung der spezifischen Lösungsansätze im Planungs- und Bauprozess in Zukunft nicht nur erwünscht, sondern notwendig.

Eberhard und Meier beschreiben die Verknüpfung der einzelnen Interessensvertretung in (Kurz 2004) wie in Abbildung 28 dargestellt.

Die Einbeziehung der Stakeholder ermöglicht erweiterte Sichtweisen und wertvolle Ansatzpunkte für die Planung und erhöht gleichzeitig die Akzeptanz der Nutzer mit dem (sanierten) Gebäude. Die ‚Sprache der Pädagogik‘ mit der ‚Sprache der Architektur‘ zu verbinden bildet einen Schwerpunkt der gegenwärtigen Entwicklung im Planungsbereich. Besonders die *Lehrenden* und *Lernenden* müssen in den Planungsprozess einbezogen werden um ihre Sichtweise einzubringen. Damit kann auch Aufklärungsarbeit hinsichtlich Nachhaltigkeit gemacht werden: in einer in Großbritannien durchgeführten Studie zum Thema ‚*Engaging schools in the science of low- energy buildings*‘ wurden Schüler in Designprozesse eingebunden und konnten damit ihre Schule aktiv mitgestalten. Die Studie kam zum Schluss, dass damit bei der jungen Generation gezielt die Bewusstseinsbildung im Bereich der Energieeffizienz geschärft werden kann (Charnley, et al. 2010).

¹⁰⁵ www.hausderzukunft.at/results.html/id5421 / Zugriff 15.05.2015

¹⁰⁶ Der englische Begriff ‚Stakeholder‘ bedeutet in diesem Kontext Betroffene, Beteiligte bzw. Interessensvertreter

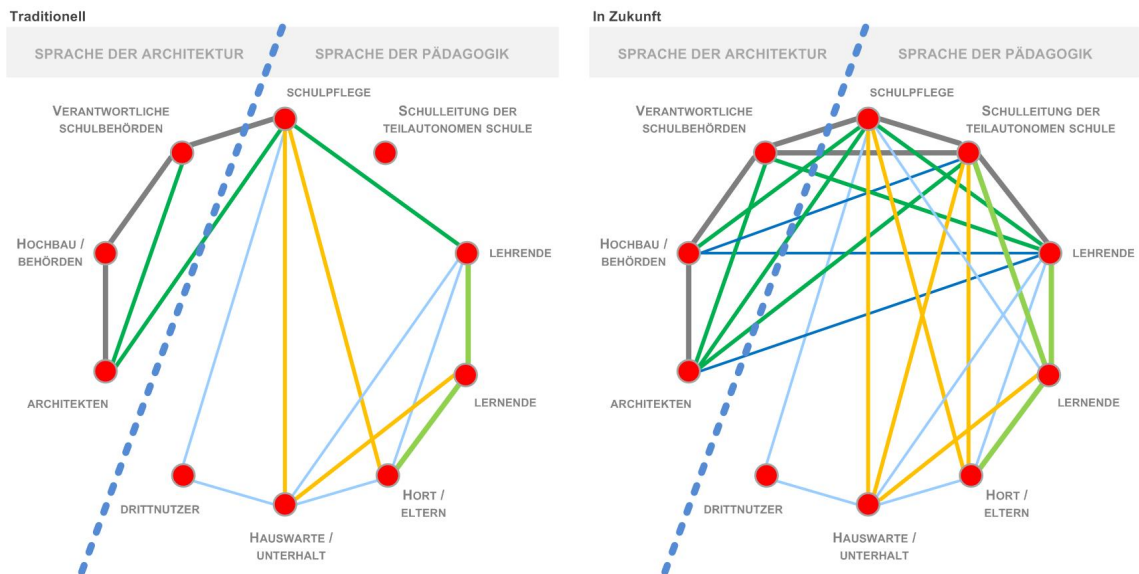


Abbildung 28: Zusammenarbeit der unterschiedlichen Stakeholder, Traditionell und in Zukunft; nach Peter Eberhard und Urs Meier in (Kurz 2004)

Kinder benötigen ein breites Spektrum an räumlichen Charakteristika: von Ruhe und Rückzug einerseits bis zu Kommunikation und Interaktion und extremer Mobilität durch Bewegung andererseits. Räume müssen daher dem Bedürfnis nach statischen, ruhenden bis zu hoch-mobilen dynamischen Abläufen gerecht werden. Dabei geht es nicht darum, für jeden Zustand den passenden Raum zu entwerfen, sondern vielmehr um Räume, die sich den unterschiedlichen Bewegungen anpassen können. Flexibilität ist demzufolge eine wichtige Voraussetzung an den Schulbau von morgen: Nehrer analysiert dazu bereits in seiner Studie zum *Schulbau in Österreich* (Nehrer 1982) verschiedene Grundrissysteme die sowohl Veränderungen der Raumgrößen, der Funktion als auch der Gesamtgröße zulassen. Demzufolge sind Grundrisse mit linearem Erschließungssystem leicht erweiterbar. Ringförmige, zentrale Erschließungen als auch der Schustertyp mit zweiseitig belichteten Klassen weisen dagegen weniger Flexibilität auf. Wichtig ist dabei auch die Trennung der tragenden Struktur von der raumteilenden Struktur, was wiederum für den Skelettbau spricht, der vor allem im Schulbau nach 1970 verstärkt zur Anwendung kam (Nehrer 1982).

Die Sanierung stellt eine Chance dar, für zukünftige, flexible Raumkonzepte vorzuplanen. Wenn die Innenräume nicht das begrenzende Element darstellen, dann muss die Fensterkonfiguration auch entsprechend flexibel gestaltbar sein. In der Hauptschule in Zams (Annex Projektbeispiel 5) wurden bei der Sanierung von Außenwand und Fenster auf Passivhausniveau bereits alternative Raumkonzepte mitgedacht.

Die Sanierung der klassischen Gründerzeitschule mit ihren ‚Gangklassen‘ stellt eine besondere Herausforderung dar. Sprecher Mathieu skizziert dazu in (Sprecher Mathieu 2010) Beispiele, wie neue Raumkonzepte in typischen Gangschulen untergebracht werden können (Abbildung 29). Grundsätzlich lassen sich die Erweiterungsmöglichkeiten in drei Gruppen einteilen: Vergrößerung der Flächen in Bezug zu anderen Klassenzimmern

(Zusammenlegung von Klassenräumen; Beispiele A und B in Abbildung 29), Nutzung von Korridoren und Gangflächen (Beispiele C und D in Abbildung 29) und Erweiterungen nach außen (Hof bzw. Freiflächen; Beispiele E und F in Abbildung 29). Alle Varianten müssen dabei vor allem hinsichtlich der statischen Gegebenheiten und des Brandschutzes im Einzelfall untersucht werden. Besonders die Nutzung von Gangflächen muss mit den Anforderungen an Brandschutz und Fluchtwegen in Einklang gebracht werden.

Die ursprünglichen Grundrisse sind durch die Aneinanderreihung von Klassenzimmern relativ starr (A). Eine Erweiterung der Klassenräume in zwei Gruppenräume kann durch die Teilung von Räumen entstehen (B). Werden hier flexible Trennwände eingesetzt, so kann dieses Modell sowohl mit einem großen Gruppenraum als auch zwei unterschiedlich großen Bereichen genutzt werden. Auch die gemeinsame Nutzung zweier Klassen von neuen Bereichen, die von beiden Seiten erschlossen sind, lassen sich durch neue Trennwände bewerkstelligen (C). In (D) wird der Raum Richtung Korridor geöffnet und ermöglicht so kleinere Gruppenräume und eine Nischensituation zum Gang. Der Korridorbereich kann dann teilweise genutzt werden, wenn die Gänge ausreichend belichtet sind und genügend Breite aufweisen, um den feuerpolizeilichen Vorschriften gerecht zu werden (E).

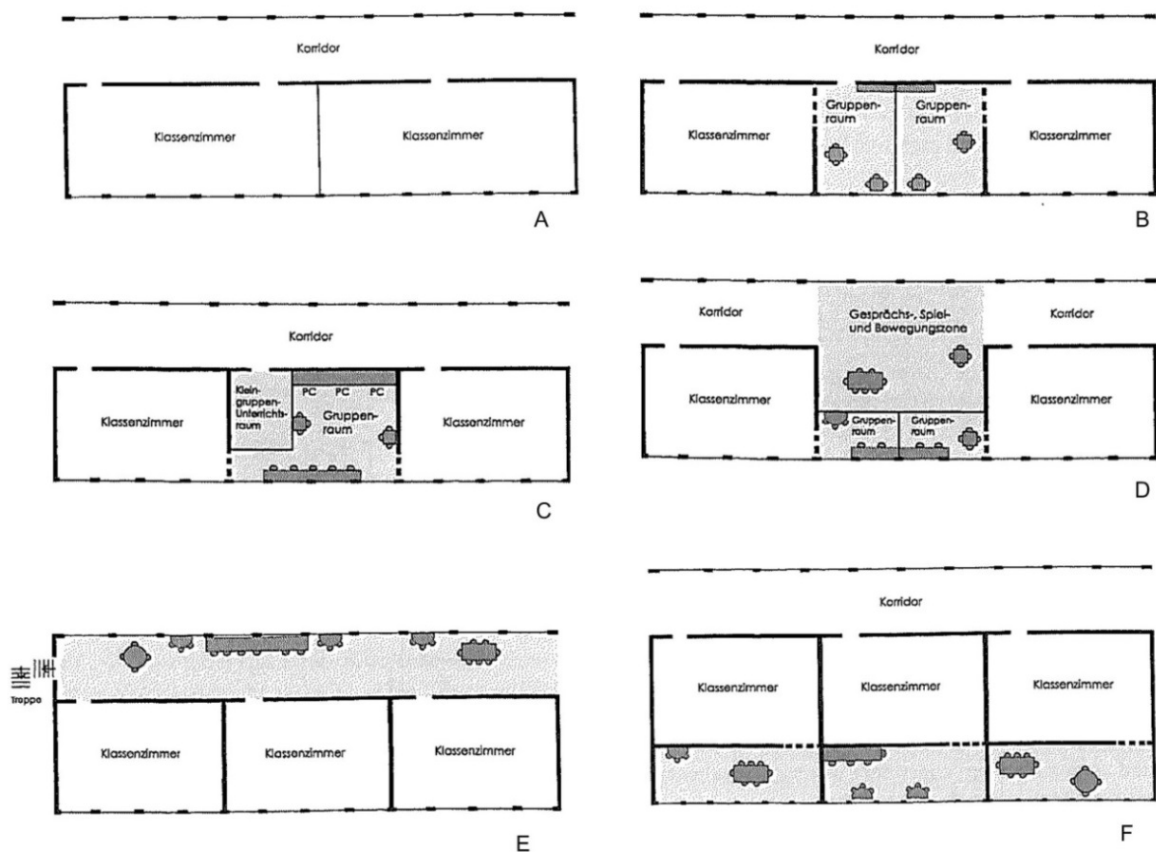


Abbildung 29: Neue Raumkonzepte in alten Schulhäusern nach (Sprecher Mathieu 2010)

Ist eine Erweiterung an der Hauptfassade möglich, so kann vor dem Klassenzimmer ein Gruppenraum angebaut werden (F), der auch - sofern die Orientierung dies erlaubt - als Wintergarten ausgeführt werden kann (Sprecher Mathieu 2010). Hier muss der mögliche Vorteil eines Wintergartens (passive Sonnenenergienutzung), dem möglichen Nachteil der geringeren natürlichen Belichtung der Klassenräume gegenübergestellt werden. Bei großen Fensterflächen und einer adäquaten Verschattung können damit zusätzliche Flächen gewonnen werden.

Beispielhaft wurde ein solches Konzept der ‚Aneinanderreihung‘ in der Piaristenvolksschule St. Thekla in Wien umgesetzt. Hier wurde eine ‚pädagogische Schulhaussanierung‘ (d.h. eine Sanierung, die eine Erneuerung der Funktionen statt eine architektonische / bauliche Sanierung im Fokus hat) im Rahmen eines mehrjährigen interdisziplinärem Forschungsprojekts realisiert. Die Räume des denkmalgeschützten Gebäudes wurden durch Zusammenlegungen bzw. Umnutzung von Gangflächen neu definiert und an ein zeitgemäßes pädagogisches Konzept angepasst (Jäger-Klein 2012). Der Brandschutz ist in diesem Kontext von besonderer Bedeutung: werden Adaptierungen vorgenommen, müssen durch die aktuellen brandschutztechnischen Vorschriften zumeist aufwändigere Maßnahmen getroffen werden. Zusätzliche Fluchtwege bieten jedoch auch den Vorteil, dass Gangflächen einer neuen Nutzung zugeführt werden können.

In der Volksschule Mähdle in Vorarlberg (Annex Projektbeispiel 6) wurden durch eine Verbreiterung des Gebäudes, sowie das Schließen des Außenraumes zwischen Aula und Turnsaal zusätzliche Flächen geschaffen. Dadurch konnte jedem Klassenzimmer ein Gruppenraum zugefügt werden, um den Anforderungen an neue pädagogische Konzepte gerecht zu werden.

Wenn die baulichen Rahmenbedingungen einer Sanierung eingeschränkt und räumliche Veränderungen kaum möglich sind, so kann auch mit innovativer Innenraumgestaltung eine positive Veränderung herbeigeführt werden. Das ‚flexible Klassenzimmer‘ und damit die Auflösung des klassischen Frontalunterrichts kann z.B. mit einem umlaufenden Wandschienensystem, bei dem unterschiedliche Tafeln an jede gewünschte Position im Raum gehängt werden können, unterstützt werden. Dreieckige Tische lassen im Vergleich zu rechteckigen Schultischen unterschiedliche Tischkombinationen zu. Ein Tischbein kann dabei mit Rollen ausgeführt sein, um ein leichtes Herumschieben zu gewährleisten (Watschinger 2007).

Zusätzliche Sitzgelegenheiten abseits der klassischen Bestuhlung können durch Fensterbänke oder Nischen geschaffen werden. In der Sonderschule 06 in Linz (Annex Projektbeispiel 3) wurde der Parkettboden bei der Sanierung bis über die Parapete gezogen um alternative Sitzflächen anzubieten. Hier wurde durch die Aufstockung in vorgefertigter Holzriegelbauweise das energetische Konzept (Passivhaus) mit einem neuen räumlichen Konzept für die Sonderschule vereint.

Merten hat in seiner Diplomarbeit zur „...*Entwicklung eines Verfahrens für die Sanierung und Adaptierung von Schulbauten...*“ (Merten 1992) zu den baulichen Konsequenzen Selektionskriterien zu den folgenden Fragestellungen entworfen, siehe Tabelle 17:

Einfluss spezifischer Anforderungen auf bauliche Konsequenzen

	ANFORDERUNG	AUSWIRKUNG, RAUMBEDARF
WER lernt?	Alter	Dem Alter entsprechender Maßstab sowie Farb- und Formgebung, Psychoklima und Einrichtung
	Geschlecht	Getrennte Ausführung von Sanitäranlagen, Duschräumen und Turngarderoben
	Kultur	Spezielle Integrationsmaßnahmen; Unterricht in Sprache und Kultur
	Behinderung	Behindertengerechte Ausstattung und bauliche Gestaltung
WAS wird gelehrt?	Allgemeines	Kognitive Leistungen, Emotionalität, Sensorik und Motorik; Animation durch Architektur, Farbe, Material, Dimension und Proportion (Psychoklima)
	Persönlichkeit	Autogenes Training, Meditation, Kommunikation
	Ausdruck	Rhetorik, theatralischer Ausdruck, Rhythmik, Tanz, Theaterausstattung
	Interkulturelles Lernen	Einbindung der kulturellen und wirtschaftlichen Globalisierung
	Medien	Film, Video, neue Medien; spezielle Medienbereiche
	Handwerk	Vermittlung grundlegender handwerklicher Kenntnisse
	Schwerpunkte	Musik, Sport
	Keine Nutzung von Freiflächen	Gesamterscheinung beeinträchtigt; Risiko von sozialen Problemen; ineffiziente Nutzung von Freiflächen
	Bedarf nach zusätzlichen Flächen	Existierende Flächen erfüllen nicht die geforderten Funktionen
WIE wird gelehrt?	Individualisierung des Lernens	Eingehen auf Talente, Interessen sowie Lerngeschwindigkeit der Schüler; spezielle Lernbereiche
	Multi-Optionales Lernen	Die Optionen bestehen in der Wahlmöglichkeit von Lerninhalten, Lehrmitteln sowie individuellen Lernzeiten
	Multi-Mediales Lernen	Multi-Mediale Hilfsmittel in allen Lernbereichen (auditiv, visuell, kinästhetisch)

Lernen im Team	Die Erarbeitung von Lernzielen im Team erfordert spezielle Lernbereiche
Lernen am Projekt	Projektarbeit bedarf einer über den Standardklassenraum hinausgehenden Grundriss Organisation und einer Anzahl von Nebenräumen
Lernen am Objekt	Genügend Platz für Sammlungen, Vitrinen, Galerien; Ausstellungsgelände (im Gebäude oder in den Außenanlagen)

Tabelle 17: Einfluss spezifischer Anforderungen auf bauliche Konsequenzen nach (Merten 1992)

Im Rahmen des Projekts SchulRen+, welches die Grundlage für das in dieser Arbeit verwendete Fallbeispiel bildet, wurden die neuen Raumanforderungen wie folgt definiert (Dubisch, et al. 2012):

- Raum für Selbstunterricht, eigenes Ausprobieren, Herstellen, Lesen und eigene Texte Verfassen, Recherchieren (Simulieren, Konstruieren, Memorieren am Computer)
- Raum für das ungestörte eigene Nachdenken
- Raum für den Einzelunterricht, definiert durch das Verhältnis Meister / Lehrling
- Raum für das Gespräch in der Gruppe; Gruppengröße von maximal 12 Schüler; optimal Gruppengrößen von 4 bis 6 Schüler
- Raum für Demonstration durch Zuschauen, Zuhören bei Vortrag, Präsentation, Film, Experiment oder Konzert

LEITBILDER

Die Vielzahl an Maßnahmen, die sich aus den physiologischen und räumlich / organisatorischen Anforderungen ergeben, werden mit teilweise hohen Benchmarks in den unterschiedlichen Gebäudebewertungssystemen abgebildet. Trotzdem gibt es einen eklatanten Bedarf an architektonischer, energetischer und pädagogischer Qualität, die über die Summe der Einzelmaßnahmen hinausgeht, als auch einen Bedarf an neuen administrativen und ökonomischen Modellen, die eine umfassende Schulsanierung überhaupt erst möglich machen. Die folgenden Leitbilder sind Beispiele dafür, wie die Thematik von Experten unterschiedlichen Fachrichtungen, die sich gemeinsam und in unterschiedlichen Projekten für pädagogisch umfassende und energieeffiziente Schulsanierung einsetzen, in Worte gefasst wird.

2005 wurden in den *Stuttgarter Leitlinien für die energieeffiziente Schulsanierung*¹⁰⁷ der identifizierte Bedarf wie folgt zusammengefasst:

¹⁰⁷ www.zukunftsraum-schule.de/pdf/kongress/energie/Stuttgarter_Leitlinien_fuer_die_energetische_Schulsanierung_-_Update.pdf / Zugriff 15.05.2015

- Sanierungszyklen müssen energetische Meilensteine sein
- Kommunale Zielwerte festsetzen und stetig fortschreiben
- Bei Budgetplanung von Sanierungsmaßnahmen muss Energieeffizienz-Check obligatorisch werden
- Mut zu Innovationen
- Die positiven Nebeneffekte von Energieeffizienz-Maßnahmen auf die Raumqualität hervorheben
- Finanzierungskonzepte für Energieeffizienzinvestitionen müssen modifiziert werden
- Mit integraler Planung Mehrwerte erschließen
- Energieeffiziente Technologien nachhaltig umsetzen
- Verbrauchsüberwachung einrichten und langfristig visualisieren
- „Menschliche“ Umsetzungspotentiale aktivieren
- Sanierungsmaßnahmen in Pädagogik- und Unterrichtskonzepten der Schule einbinden
- Erfahrungen sammeln und austauschen

In einer Zusammenfassung des Schulbaus in Deutschland (Beckel 2004) wurde darüber hinaus vor allem auf das Thema der Nachhaltigkeit eingegangen. Der nachhaltige Schulbau wurde dabei in Schutzziele, Umweltziele und Handlungsziele gegliedert, um die jeweiligen Themen als Leitlinien im Bestand zuzuordnen. Die Schutzziele sind in dieser Aufzählung jeweils in ökologische, ökonomische und soziale (nach den drei Säulen der Nachhaltigkeit¹⁰⁸), sowie kulturelle Ziele untergliedert. siehe Tabelle 18:

Schutzziele der Nachhaltigkeit bezogen auf die Errichtung und den Erhalt von Schulgebäuden

	SCHUTZZIELE	UMWELTZIELE	HANDLUNGSZIELE
NACHHALTIGER SCHULBAU	Ökologische Schutzziele	Schutz der Ressourcen	Bestehende Gebäude erhalten
			Natürliche Flächen erhalten
		Schutz des Ökosystems	Energieverbrauch minimieren
			Flächenversiegelung minimieren
	Ökonomische Schutzziele	Erhaltung von Kapital	Dauerhaftigkeit maximieren
			Adaptionsfähigkeit maximieren

¹⁰⁸ Drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologische Nachhaltigkeit, Ökonomische Nachhaltigkeit, Soziale Nachhaltigkeit) basierend auf den 1987 publizierten Bericht ‚Our Common Future‘ der UN World Commission on Environment and Development (WCED), bekannt als der ‚Brundtland Report‘

	Laufende Kosten	Reinigung, Energie, Wartung minimieren Betrieboptimierung + Unterhaltsplanung
Soziale Schutzziele	Gesundheit, Behaglichkeit	Humantoxikologisch problemlose Baustoffe und Möblierung Produktionsintegrierter Umweltschutz
	Soziales Kapital	Räumliche Diversität Integration in Nachbarschaft
Kulturelle Schutzziele	Nicht-Nutzwerte	Substanzwert erhalten Erinnerungswert erhalten
	Wissen	Erhalten von Wissen über Gebäude Handwerkliche Qualifikation erhalten

Tabelle 18: Schutzziele der Nachhaltigkeit bezogen auf die Errichtung und den Erhalt von Schulgebäuden nach (Beckel 2004)

In Österreich wurde 2010 von einer Gruppe von Experten aus den Bereichen Architektur, Pädagogik und Schulverwaltung eine Charta entwickelt, die die Grundzüge eines zeitgemäßen Umgangs mit Lehr- und Lernräumen in elf Punkten zusammenfasst. Dabei wird vor allem eine hohe Qualitätssicherung gefordert und eine Auseinandersetzung mit Anforderungen in Bezug zu einer neuen Lernkultur. Neue pädagogische Konzepte müssen sich auch in der räumlichen Umsetzung der Bildungsbauten widerspiegeln. Speziell bei Sanierungsvorhaben wird darauf hingewiesen, dass diese ‚...Anlass für die pädagogisch-räumliche Weiterentwicklung...‘ bieten und eine ganzheitliche Sicht in Bezug zu Energieeffizienz und Nachhaltigkeit erzielen sollen: *„...Die Planung und Sanierung von Bildungsbauten hat nach den Kriterien von Sparsamkeit, Zweckmäßigkeit und Schönheit zu erfolgen. Bildungseinrichtungen müssen barrierefrei, gendergerecht und ökologisch gestaltet sein und eine hohe Energieeffizienz aufweisen, wobei der jeweils aktuelle Stand der Technik und Wissenschaft heranzuziehen ist, um eine möglichst ganzheitliche Sicht der Nachhaltigkeit zu erreichen...“*¹⁰⁹

2011 wurde im Rahmen des Projekts SchulRen+ ein umfassendes ‚Leitbild zukunftsfähige Schulsanierung‘ in 7 Punkten entworfen (Dubisch, et al. 2012), das aus den Stuttgarter Leitlinien abgeleitet wurde:

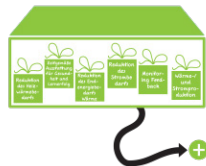
¹⁰⁹ Charta für die Gestaltung von Bildungseinrichtungen des 21. Jahrhunderts, Jänner 2010; www.schulumbau.at / Zugriff 15.05.2015

1. Die zukunftsfähige Schulsanierung ist nachhaltig.



Eine nachhaltige Schulsanierung nutzt die Instandsetzungszyklen für die substanzielle Verbesserung des energetischen Standards und die Adaptierung hinsichtlich neuer pädagogischer Anforderungen. Die Instandsetzungspläne der Schulen werden mit einer umfassenden energetischen Sanierung synchronisiert, um die Wirksamkeit der anfallenden „Sowieso“-Kosten zu maximieren.

2. Die zukunftsfähige Schulsanierung ist umfassend.



Die besten Effekte werden erreicht, wenn alle Maßnahmen in einem Vorhaben durchgeführt werden. Aus Kostengründen wird das oft nicht möglich sein. Aus diesem Grund können die Maßnahmen auch in Paketen durchgeführt werden. Notwendige Anbindungsmöglichkeiten werden rechtzeitig eingeplant.

3. Die zukunftsfähige Schulsanierung benötigt eine Budgetplanung für mehr Energieeffizienz und erneuerbare Energie.



Energieeffizienzmaßnahmen werden auf der Basis von Lebenszykluskosten und nicht auf der Basis von reinen Investitionskosten in die Budgetplanung aufgenommen.

4. Die zukunftsfähige Schulsanierung benötigt neue Finanzierungskonzepte für Investitionen in zeitgemäße Ausstattung für Gesundheit und Lernerfolg, Energieeffizienz und erneuerbare Energietechnologien.



Finanzierungskonzepte werden modifiziert: PPP-Projekte werden auf Energieeffizienz ausgerichtet (Akzeptanz längerer Amortisationszeiten und Vertragslaufzeiten, Vorzüge für Energieeffizienz-Anbieter bei Vergaben). Es werden Budgetmittel für eine zeitgemäße Ausstattung für Gesundheit und Lernerfolg vorgesehen.

5. *Die zukunftsfähige Schulsanierung reduziert Folgekosten.*



Es werden robuste und einfach bedienbare Technologien und Produkte eingesetzt.

6. *Die zukunftsfähige Schulsanierung aktiviert die nachhaltige Nutzung der Schule.*



Direktoren, Hausmeister, Lehrer und Schüler werden involviert. ‚Menschliche‘ Umsetzungspotentiale werden aktiviert: Verantwortliche werden an der Energiekosteneinsparung beteiligt. Erfolgreiche Objekte werden auf der Schul- und Stadthomepage hervorgehoben.

7. *Die zukunftsfähige Schulsanierung involviert die SchülerInnen.*



Bei der Sanierungsumsetzung wird ein Energie-Lehrpfad realisiert. Die Themen Energieeffizienz, erneuerbare Energietechnologien, Gesundheit und Behaglichkeit werden in den Unterricht eingebunden.

2.4. Typologien

Um energetisch optimierte Sanierungsszenarien bis hin zu Plus-Energie-Sanierungen entwickeln bzw. berechnen zu können, bedarf es einer systematischen und für die vorliegende Aufgabe relevanten Einteilung des Gebäudebestands. Im Folgenden werden dabei drei Arten von Typologien unterschieden, die jeweils einen Einfluss auf das räumliche und / oder energetische Konzept haben. Die **Typologie nach Baualter** kategorisiert typischerweise nach Baualtersklassen. Die **Typologie nach Baustruktur** unterscheidet nach verschiedenen Konstruktionsformen und Grundrissen. Zusätzlich zu den angeführten baulichen bzw. bau-konstruktiven Typologien wird nach energetischen Kennzahlen unterschieden und im Abschnitt **Typologie nach Energierlevanten Parametern: Niedrig-, Passiv- und Plusenergie Gebäude** beschrieben.

Im Bereich der Wohnbauten wurde bereits der Versuch unternommen, den Wohnbaubestand zu typologisieren, um anhand von statistischen Daten eine Analyse des energetischen Verhaltens der Gebäude zu ermöglichen. Das Projekt TABULA (Loga 2010) hat dazu eine umfangreiche Datensammlung zusammengetragen, die im Folgeprojekt EPISCOPE¹¹⁰ ergänzt wird. Im Bereich der öffentlichen Bauten gibt es bis dato keine vergleichbare Studie.

Nachdem die Szenarien die Verbindung von energierelevanten Parametern mit den Raumanforderungen neuer Schulmodelle verknüpfen sollen, muss sowohl die Bausubstanz, als auch das bestehende Raumprogramm beachtet werden. Diese Rahmenbedingungen müssen gemeinsam analysiert werden. Lorbek beschreibt dazu in (Höflinger, Lorbek und Kovacic 2013), dass es an verlässlichen statistischen Daten für die Gesamtheit des Gebäudeportfolios mangelt und demnach die Betrachtungsweise auf das singuläre Objekt auch bei Sanierungen dominiert. Als mögliche Eingrenzungen bzw. Typologien werden dazu folgende Parameter nach (Höflinger, Lorbek und Kovacic 2013) definiert:

- *Räumliche Nähe*
- *Zusammenhängende, städtebauliche Einheiten wie Straßenzüge, Nachbarschaften, Quartiere*
- *Historische Genese (wie zum Beispiel alle Bauten des Roten Wien)*
- *Baualtersklasse (age class)*
- *Nutzungsklasse (use class) / klassische Typologien wie Schule, Kirche, Rathaus, Krankenhaus*
- *Gebäudeportfolio mit einem privaten Eigentümer / Eigentümerkonsortium*
- *Gebäudebestände in Genossenschaft und anderen Trägern mit sozialem Auftrag*

¹¹⁰ www.episcope.eu/welcome/

In Bezug auf die vorliegende Arbeit wird dabei die faktische Eingrenzung wie folgt vorgenommen:

- Räumliche Eingrenzung auf die Stadt Wien
- Keine zusammenhängenden Einheiten (Schulen sind über das gesamte Wiener Landesgebiet verteilt)
- Die historische Genese: wird im Rahmen der Baualtersklassen definiert
- Baualtersklasse: Einteilung erfolgt nach Bestandsgröße und architektonischen sowie bautechnischen Aspekten
- Nutzungsklasse: Schulbau
- Gebäudeportfolio: nur Schulen im Eigentum der Stadt Wien (Volks- und Hauptschulen sowie Polytechnische Lehrgänge und Sonderschulen)

TYPLOGIE NACH BAUALTER UND KONTEXT

Eine erste typologische Aufstellung kann auf Basis der Baualtersklassen vorgenommen werden bzw. dem Kontext in dem die Gebäude errichtet wurden. In Vorarbeiten gibt es dazu unterschiedliche Ansätze, die sowohl historische, bauhistorische, politische, ökonomische und soziale Aspekte miteinbeziehen, siehe Tabelle 19.

Baugeschichtlich und bautechnologisch signifikante Perioden

BAUALTERSKLASSE	PERIODE	BAUKONSTRUKTIVE, SOZIALE, POLITISCHE UND ÖKONOMISCHE BESONDERHEITEN
AK-i1	vor 1835	Vorindustrielle Bauweise mit handwerklich geprägten Konstruktionen; energieintensive Baustoffe werden selten verwendet
AK-i2	1835 - 1870	Etablierung des Bauens mit industrialisierten Elementen der Eisenerzeugung
AK-i3	1871 - 1918	Industrie, insbesondere Stahlindustrie gewinnt beherrschende Stellung in deutscher Volkswirtschaft; Stahl vorherrschendes Material weitgespannter Konstruktionen; Beginn des Stahlbetonbaus ab 1900; beginnende Normierung; rasche Verdichtung und Verstädterung (Gründerzeit)
AK-i4	1919 - 1939	Bauten der Moderne; neue Bauverfahren werden ausprobiert innerhalb eines global handwerklich geprägten Bauens; nach 1932 Weltwirtschaftskrise mit rückläufiger Produktion
AK-i5	1940 – 1947	Mangelwirtschaft mit Ersatzrohstoffen der Kriegsjahre

AK-i6	1948 – 1964	Konstruktion und Bauweise ähnlich der Zwischenkriegsphase; bautechnische Veränderung durch Stahlbetondecken; Diversifizierung im Fabrikbau (Stahl) und Bürobau
AK-i7	1965 – 1976	Rationalisiertes Bauen mit zunehmender Fertigteilproduktion (Fenster, Türen, etc.); Vorfabrikation (Beton) im Wohnungsbau bis 1978; Industriebau und Hochschulbau; erste Vorhangfassaden und Leichtbauversuche
AK-i8	1977 - 2000	1973 erste Ölkrise; Wärmeschutzvorschriften bewirken höhere Dämmung ohne neue Bauverfahren; Verbesserung bei Fenster und in Heiztechnik; neue Normen [...]; bauliche Erneuerung nimmt massiv zu und prägt Teile des Bestands
AK-i9	2000 -	Wesentlich reduzierter Energiebedarf durch massiv höhere Dämmung, Luftdichtigkeit, neue Wärmeschutzgläser; Beginn Niedrigenergiestandards [...]

Tabelle 19: Baugeschichtlich und bautechnologisch signifikante Perioden nach (Höflinger, Lorbek und Kovacic 2013)

Bezogen auf Schulbauten unterscheidet Lorbek in (Haselsteiner, et al. 2010) folgende Baualtersklassen:

- Gründerzeit 1848 bis 1917 (Gangschule)
- Wiederaufbau 1945 bis 1961 (Pavillonschule, ein- bis zweigeschossig)
- Späte Nachkriegsmoderne 1962 bis 1970 (Pavillonschule, mehrgeschossig mit gegliederter Traktstruktur)
- 70er Jahre 1971 bis 1980 (Hallenschule)

Der Fokus dieser Arbeit wird vor allem auf Volks- und Hauptschulen in Wien gelegt, deren unterschiedliche Errichtungsdaten vom Ende des 19. Jahrhunderts bis in die Gegenwart reichen (vgl. Abschnitt 2.1, Abbildung 7). Ziel ist es dabei, die Analyse an Hand eines konkreten Beispielfalls durchzuführen, um daraus in Folge Schlüsse für alle in eine Typologie fallende Gebäude ziehen zu können.

Das Bauwerk, welches im Rahmen des Projekts SchulRen+ analysiert wurde, steht beispielhaft für Bautypologien für ca. 50% der Schulen der Stadt Wien¹¹¹. Die ausgewählte Schule stellt einen typischen Wiener Gründerzeitbau dar. Die Anwendbarkeit auf andere Schulen ähnlichen Baualters (bis ca. 1950) und Bautyps ist damit gewährleistet - Siehe Kapitel 4 Beispiel.

¹¹¹ Die Stadt Wien ist Eigentümer und Betreiber der öffentlichen Wiener Pflichtschulen (Volks- und Hauptschulen, NMS), Gymnasien und andere höhere Schulen befinden sich im Eigentum der BIG (Bundesimmobiliengesellschaft)

TYPOLOGIE NACH BAUSTRUKTUR

Die Baustruktur und Grundrissart hat einen maßgeblichen Einfluss, ob und in welcher Form räumliche und energetische Adaptierungen durchgeführt werden können.

Beim Skelettbau ist eine Trennung der tragenden und raumgebenden Struktur eine gute Voraussetzung für eine hohe Flexibilität in der Raumgestaltung. Im Massivbau ist die Flexibilität dann gegeben, wenn sich die tragenden Wände hauptsächlich auf die Außenwände beschränken.

Eine Erstellung von Typologien auf Basis der Grundrisse ist vor allem hinsichtlich der Anwendung neuer Raumkonzepte von besonderer Bedeutung, da durch eine Veränderung unterschiedliche Raumgrößen und Raumabfolgen entstehen können. In Abschnitt 2.1 ‚Entwicklung von Schulgebäuden / Geschichtlicher Abriss‘ werden einige Schulgebäudetypologien, die sich aus der klassischen Gangschule entwickelt haben, diskutiert.

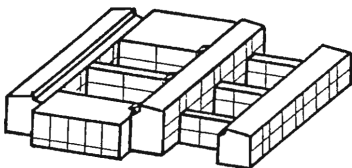
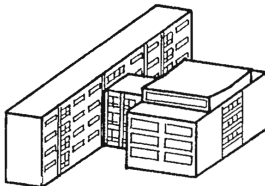
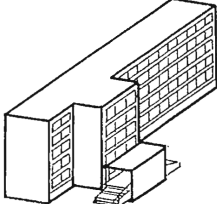
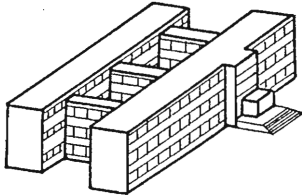
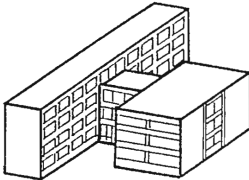
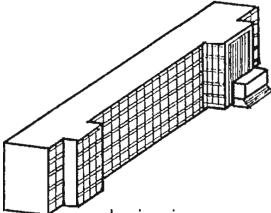
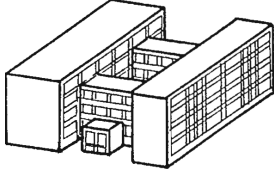
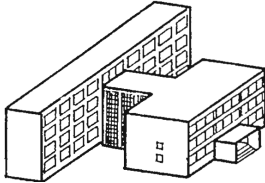
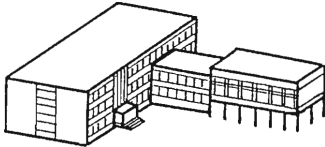
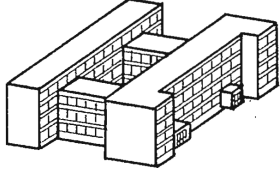
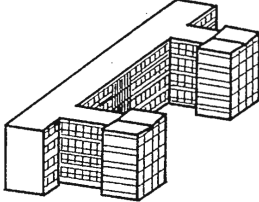
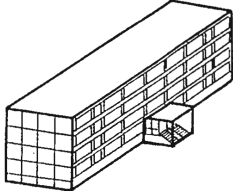
Atriumtypen	Schustertypen	Gangtypen
		
		
		
		

Abbildung 30: Gebäudecharakteristik zweizügiger Typenschulbauten in DE (Ahnert und Bloedow 1999)

Hinsichtlich der Gebäudetypologien lassen sich aus den Bauten der Nachkriegszeit im Wesentlichen drei Grundrissarten der Gangschule identifizieren, die in (Ahnert und Bloedow 1999) dokumentiert sind. In diesem Leitfaden werden Modernisierungsmaßnahmen für die Typenschulbauten der Neuen Länder in Deutschland beschrieben. Dabei werden die Schulgebäude in Atriumtypen, Schustertypen und Gangtypen eingeteilt, die die klassische Gangschule repräsentieren (siehe Abbildung 30).

Die ‚Modernisierung‘ dieser Schulen bezieht sich dabei hauptsächlich auf die bautechnische Sanierung. Eine Änderung des Lernumfelds durch eine Adaptierung der Raumgrößen oder Raumanordnungen wurde dabei nicht in Betracht gezogen.

In einem Artikel zur Schulhauserneuerung, der sich mit der Thematik der Typologien in Bezug zu Vorfabrikation und Lüftungssystemen auseinandersetzt, werden die Kategorien im Schulgebäudebestand auf drei Bautypen zurückgeführt: Korridorotyp (gleichzusetzen mit dem Begriff der Gangschule), Hallentyp und Pavillontyp (Heim, Fischer und Schwehr 2011); siehe Abbildung 31.

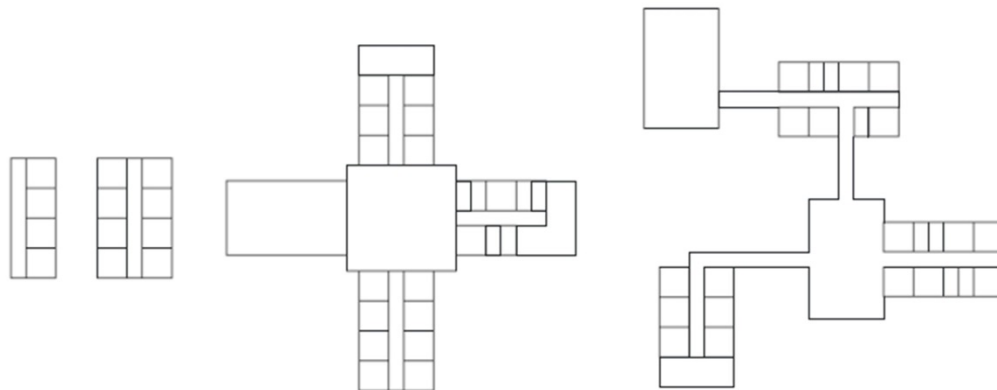


Abbildung 31: Korridorotyp, Hallentyp, Pavillontyp aus (Heim, Fischer und Schwehr 2011)

Wenn auch die Gebäudetypologien durchaus unterschiedlich sind und die Aneinanderreihung der Klassenzimmer in den verschiedenen Beispielen variiert, so ist das vorrangig gleichbleibende Element dennoch die Anordnung Klasse mit vorgesetztem Gang. Besonders bei der Planung der Lüftungssysteme spielen die Grundrissarten sowie die Gestaltung der Fassade eine große Rolle. Die unterschiedlichen Grundrissarten und passende Systeme zur natürlichen und mechanischen Belüftung sind in Abschnitt 2.6 ‚Haustechnik-Komponenten und erneuerbare Energietechnologien / Lüftungssysteme‘ angeführt.

Generell lassen sich die Einflussfaktoren der Baustruktur bzw. Grundrissart lt. Tabelle 20 zusammenfassen. Der Einfluss auf Raum + Architektur bzw. Energie + Effizienz lässt sich für Fassade, Grundriss, Baukörper und dem statischen System jeweils mit ‚positiv‘ bzw. ‚negativ‘ beantworten. Diese Liste lässt sich beliebig für spezifische Objekte erweitern. Wichtig ist jedoch in der Analyse-Phase einer Sanierung eine Aufstellung bzw. Zuordnung der Typologien vorzunehmen, um die Möglichkeiten der architektonisch / räumlichen und energierelevanten Aspekte synergetisch auszuschöpfen.

Einflussfaktoren der Baustruktur auf Raum + Architektur und Energie + Effizienz

Baustruktur	Arten	Einfluss auf RAUM + ARCHITEKTUR	Einfluss auf ENERGIE + EFFIZIENZ
Fassade / Hüllflächen	Punktfassade Fassadenelement Ensemblegeschützt Denkmalgeschützt	Flexibilität der Innenwände Tageslichtqualität Sicht nach außen Änderung des Stadtbildes	Integration von erneuerbaren Energietechnologien Dezentrale / zentrale Lüftungsanlage bzw. natürliche Belüftung Tageslicht Verschattung
Grundriss	Atriumtypen Schustertypen Gangtypen	Veränderungen der Raumstruktur Veränderte Nutzung der Gangflächen	Leitungsführung der haustechnischen Systeme Lüftungssysteme in Abhängigkeit der Grundrissart Zonierung der Heiz- und Kühlkreise in Abhängigkeit der Nutzung und Orientierung
Baukörper	Korridorotyp Hallentyp Pavillontyp Kompakt Zergliedert	Veränderung der Raumstruktur Veränderung der Nutzung	Erhöhte Effizienz durch kompakte Bauweise ,Clustering' von Nutzungszonen (Tages- / Abendnutzung) Zonierung der vertikalen und horizontalen Erschließung
Statisches System	Raumgebende Elemente tragend Raumgebende Elemente nicht-tragend	Veränderung der Raumstruktur durch Flexibilität der Innenwände Ermöglichung von Durchbrüchen (Raumöffnung / Verbesserung der Tageslichtqualität) Schaffung von Atrien und zusätzlichen Nutzungszonen	Massive Bauweise (Nutzung von Speichermassen) Leichtbauweise (rasches Aufheizen / Abkühlen)

Tabelle 20: Einflussfaktoren der Baustruktur auf Raum+ Architektur und Energie + Effizienz

TYPOLOGIE NACH ENERGIERELEVANTEN PARAMETERN: NIEDRIG-,
PASSIV- UND PLUSENERGIE GEBÄUDE

In den letzten Jahren hat sich eine Vielzahl an Terminologien – von Niedrigenergie, zu Niedrigstenergie über Passivhaus zu Null- und Plusenergie – etabliert, um dem Thema Energieeffizienz im Gebäude einen Namen zu geben. Nicht immer folgt der Terminologie jedoch auch eine quantitative Definition. Im Energieausweis für Gebäude¹¹² werden seit 2008 die Kategorien von A++ bis G (siehe Abbildung 32) und damit eine einheitliche Berechnungsgrundlage festgelegt. Niedrigenergiegebäude sind laut Energieausweis Gebäude, die weniger als 50kWh(m²a) Heizwärmebedarf (HWB) ausweisen. Der weithin etablierte Passivhaus-Standard¹¹³ ist mit 15kWh(m²a) Heizwärmebedarf oder 1,5 l-Heizöläquivalent je Quadratmeter Bruttogrundfläche des konditionierten Volumens und Jahr¹¹⁴ quantitativ festgelegt.

Kategorien A++ bis G, Heizwärmebedarf (HWB) von Gebäuden

HWB in kWh/(m ² a) ^(a)	Kategorie	HWB (l Heizöläquivalent) ^(b)
≤ 10	A++ <i>Passivhaus</i>	200–300
≤ 15	A+	Niedrigstenergiehaus 400–700
≤ 25	A	
≤ 50	B	Niedrigenergiehaus 1000–1500
≤ 100	C	Zielwert nach Bauvorschrift 1500–2500 ^(a)
≤ 150	D	alte, unsanierte Gebäude > 3000 ^(a)
≤ 200	E	
≤ 250	F	
≤ 300	G	

^(a) in den technischen Bauvorschriften 2008 wurde neu geregelt, dass der Grenzwert nicht fest, sondern von der Gebäudeform und Gebäudegröße abhängt - die Werte

^(b) Bezogen auf ein Einfamilienhaus mit 150 m² und Vier-Personen-Haushalt (ohne Warmwasser)

Abbildung 32: Kategorien im Energieausweis für Gebäude¹¹⁵

Mit der Neuauflage der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie 2002/91/EC (EPBD Recast) wird festgesetzt, dass in Zukunft zumindest Null-Energie-Gebäude den Standard setzen werden. In der aktuellen Version der EPBD werden Niedrigstenergiegebäude¹¹⁶ ab 2019 für Neubauten im öffentlichen Sektor und ab 2021 für alle Gebäude verpflichtend. Vor allem im urbanen Raum erfordert die Knappheit an Flächen, die für den Einsatz erneuerbarer Energietechnologien genutzt werden können, dass die Gebäudehülle vermehrt zur Energiegewinnung herangezogen wird. Damit wird deutlich, mit welchen Herausforderungen die Planer in der Sanierung des Gebäudebestands konfrontiert sein werden. Im EPBD Recast ist festgehalten, dass öffentliche Gebäude (auch öffentlich genutzte Gebäude, also Schulen) dabei eine Vorbildwirkung haben sollen.

Eine in den europäischen Normen definierte Beschreibung des ‚Plus-Energie-Standards‘ gibt es zurzeit noch nicht. Im Rahmen eines 2013 durchgeführten Forschungsprojekts des BMVITs wurde ein Rechenverfahren für die Bemessung von Plus-Energiehäusern entwickelt, um die österreichische Normung hinsichtlich Gebäudetechnik und Bauphysik

¹¹² ÖNORM H 5055 Energieausweis für Gebäude

¹¹³ Passivhaus Institut, www.passiv.de

¹¹⁴ ÖNORM B8110, Teil 1, Wärmeschutz im Hochbau

¹¹⁵ www.wikipedia.org / Zugriff 15.05.2015

¹¹⁶ Niedrigstenergiegebäude auch Nearly Zero Energy Buildings oder NZEB genannt

weiterzuentwickeln (Rosenberger, et al. 2013). Eine Annäherung einer Beschreibung wurde im Rahmen einer österreichischen Ausschreibung für Forschungsprojekte unternommen:

„...Unter „Plus-Energie-Gebäude“ wird ein Gebäude verstanden, dessen jährlicher Primärenergieverbrauch vor dem Hintergrund höchster Energieeffizienz unter der vor Ort produzierten erneuerbaren Energie liegt. Unter „vor Ort“ wird innerhalb der Grenzen der Siedlung oder des Gebäudes bzw. in unmittelbarer Nachbarschaft hierzu verstanden...“¹¹⁷

Zu beachten ist, dass auch bei der Definition des Plus-Energie-Gebäudes die „...höchste Effizienz...“ im Vordergrund steht. Demzufolge muss dem Einsatz erneuerbarer Energieträgern jedenfalls eine effiziente Gebäudestruktur- und Systemtechnik vorausgehen. In Abbildung 33 ist die Vorgehensweise zur Erreichung der verschiedenen Standards abgebildet.

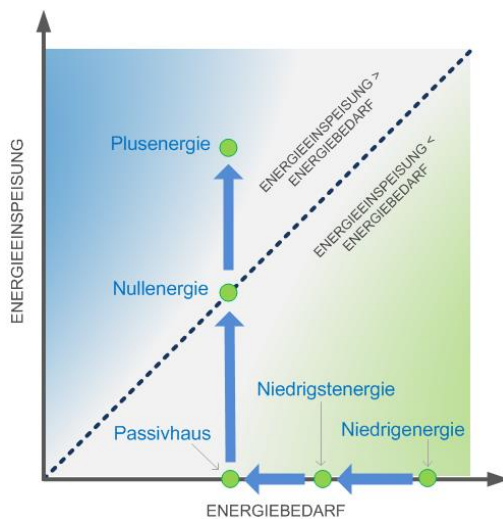


Abbildung 33: Vorgehensweise zur Erreichung von Niedrigenergie / Passivhaus / Nullenergie und Plus-Energiestandards im Gebäude

Ob und in welchem Ausmaß eine Plus-Energie Sanierung ökonomisch und technisch sinnvoll ist, lässt sich nur mit einer detaillierten Potentialanalyse feststellen. Mit dem Kriterienkatalog Plus-Energie-Sanierung (Knotzer und Geier 2011) kann jedoch eine erste grobe Abschätzung getroffen werden. Dabei werden *„...die Qualität und Lage des Standortes, das Sanierungspotential des Bestandes, das Potential durch die Sanierung erneuerbare Energie vor Ort erzeugen zu können und das Potential vorgefertigte Fassaden und / oder Dachmodule für die Sanierung einsetzen zu können...“* analysiert.

Im Bereich der Sanierung von Schulgebäuden gibt es bereits zahlreiche Beispiele für eine erfolgreiche Sanierung auf Passivhausstandard. Eine der ersten Schulen in Österreich, die im Zuge einer Neugestaltung auch einer umfassenden energetischen Sanierung unterzogen wurde, ist die Polytechnische Schule und Hauptschule II Schwanenstadt, die im Jahr 2007 fertiggestellt wurde (siehe auch Projektbeispiel 1: Polytechnische Schule und

¹¹⁷ Haus der Zukunft Plus, 2. Ausschreibung 2009, Leitfaden zur Projekteinreichung Nov. 2009

Hauptschule II Schwanenstadt in Abschnitt 8.4 im Annex). Es folgten zahlreiche Beispiele vor allem aus den Bundesländern, die ähnliche Maßnahmen umsetzten. Dequaire kommt in (Dequaire 2013) nach einer Analyse von vier österreichischen Schulen, die auf Passivhaus-Niveau saniert worden zum Schluss, dass die Methode der Passivhaus-Sanierung für großvolumige Gebäude und insbesondere Schulen, ein passender Ansatz ist, um Energieeffizienz in bestehenden Gebäuden drastisch zu reduzieren. *...These results demonstrate that the Passivhaus approach to the renovation of large buildings – in particular school buildings – is appropriate in meeting the expectations of nearly zero energy buildings and thus presents a reliable approach in achieving radical improvements of energy efficiency for large buildings...* (Dequaire 2013). Die vier in dieser Studie analysierten Schulen sind in den in Abschnitt 8.4 angeführten Projektbeispielen zu finden: Projektbeispiel 1: Polytechnische Schule und Hauptschule II Schwanenstadt, Projektbeispiel 3: Allgemeine Sonderschule 06 Linz, Projektbeispiel 4: Allgemeine Sonderschule 04 Linz und Projektbeispiel 5: Hauptschule Zams-Schönwies.

In der BRD werden zwei Schulen fertiggestellt, die bereits auf Plus-Energie-Standard saniert werden: die Uhlandschule in Stuttgart (Annex, Projektbeispiel 16: Uhlandschule Grund und Hauptschule mit Werkrealschule) und die Europa Schule Reutershagen in Rostock, geplante Fertigstellung 2015 (Annex, Projektbeispiel 17: Europa Schule Reutershagen), siehe ebd. In Österreich wurde bislang keine Schule auf Plus-Energie - Niveau saniert. Im Rahmen des Projekts SchulRen+ wurde eine Durchführbarkeitsstudie zu einer Plus-Energie-Sanierung erstellt, auf Grund der politischen und institutionellen Rahmenbedingungen jedoch nicht umgesetzt - siehe dazu auch Abschnitt 2.2.

Im Neubau ist das Niedrigstenergiegebäude bereits Stand der Technik. Entwicklungen Richtung Plus-Energie-Gebäude sind vereinzelt zu beobachten, stellen aber noch keine Standardsituation dar. Im Projekt Gebint (Bointner, et al. 2012) zum Thema ‚Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung‘ wurden Optimierungspotentiale in der Energiebilanz von Gebäuden mit dem Ziel untersucht, den Plus-Energie-Standard voranzutreiben. Dazu wurden unterschiedliche Gebäudetypologien vor allem im Bereich des Wohnbaus (Kleingartenhaus, Einfamilienhaus, Reihenhaus, Mehrfamilienwohnhaus), sowie Bürogebäude und Gewerbebetriebe hinsichtlich energetischem, ökologischem und ökonomischem Entwicklungspotentials analysiert. Im Projekt wird dabei ein Fokus auf die Einbindung von erneuerbaren Energiesystemen im Bestand gelegt. Der Schwerpunkt liegt in der Erneuerung von Gebäudehülle und Haustechnik in Verbindung mit dem Einsatz erneuerbarer Energien. Die zahlreichen Parameterstudien, die innerhalb des Projekts abgewickelt wurden, sollen in Planungsrichtlinien für Plus-Energie-Gebäude, Sanierungen und Städtebau einfließen (Stiendorf, K. 2011). Wesentliche Schlussfolgerungen aus der Studie im Hinblick auf Sanierungen sind im folgenden Absatz wiederholt:

...Die konsequente Anwendung von Erkenntnissen zu Plusenergiegebäuden im Neubau sollte in den nächsten Jahren zur frühen Marktreife der Technologie führen. Weitere Grundlagenarbeiten sind aber zur Entwicklung von Plusenergie-Sanierungskonzepten notwendig, da im Gebäudebestand wesentlich mehr Einsparungspotential als im Neubau gegeben ist...[.] ...Vorgefertigte Plusenergie-Gebäudekomponenten können zur

Kosteneinsparung in Neubau und Sanierung beitragen und Bauzeiten verringern. Um eine möglichst große Bandbreite an Einsatzbereichen abzudecken, sollen diese Komponenten in standardisierter Weise einfach zu größeren Baugruppen zu vereinen sein, die vor Ort nur noch montiert werden müssen... [...]...Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekte zum Thema Plusenergiegebäude sind großteils auf die Errichtung und das fertig gestellte Gebäude konzentriert oder befassen sich mit der energetischen Bilanzierung über einen idealtypischen Zeitraum von meist einem Jahr. Eine ökologische und wirtschaftliche Gesamtoptimierung von Plusenergiegebäuden erfordert jedoch die Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen, wozu noch geeignete Methoden und Verfahren, ebenso wie entsprechende Kennwerte, entwickelt werden müssen...“ (Bointner, et al. 2012)

Dies zeigt, dass vor allem Demonstrationsprojekte umgesetzt werden müssen, um eine Durchdringung von Plus-Energie-Sanierung zu erzielen. Schulen bilden hierbei auf Grund ihrer hohen Sichtbarkeit und Vorbildwirkung eine besondere Funktion und sollten daher vorrangig betrachtet werden.

2.5. Energetische Sanierung – Einflussparameter

Um eine hochwertige energetische Sanierung (bis hin zum Plus-Energie-Niveau) zu erreichen, braucht es eine Vielzahl an innovativen Aspekten, die miteinander in Einklang gebracht werden müssen. Integrierte Planungsansätze spielen dabei eine wesentliche Rolle: Ziel ist es nicht, mit additiver high-end Technik (und ausreichend Kapital) das ‚nearly zero energy‘ oder noch weiter das ‚Plus‘ in der Energiebilanz zu erreichen, sondern mit einem innovativen und integrelem Ansatz den neuen Herausforderungen an Raum, Behaglichkeit, Komfort und damit einer positiven Lernumgebung gerecht zu werden. Aufbauend auf den vorangehenden Abschnitten dieses Kapitels werden im Folgenden die Grundprinzipien der wesentlichsten externeren Einflussparameter zusammengefasst: **Klima, Lage und Externe Infrastruktur, Architektonische Parameter** und **Nutzungszonen und Innenraumklima**. Als Treiber für Nachhaltigkeit und damit auch hohe Energieeffizienz im Gebäude werden auch **Gebäudebewertungssysteme** angewendet. Eine Übersicht über aktuelle nationale und internationale Modelle soll dabei die wesentlichen Maßnahmen hervorheben.

Vor jeder Planung (unabhängig, ob von Neubau oder Sanierung) sind die externen Parameter, welche das architektonische Konzept im Hinblick auf das Energiekonzept beeinflussen, zu analysieren. In Tabelle 21 sind die wesentlichen Einflussfaktoren dargestellt. Diese werden in Folge in den Unterabschnitten beschrieben.

Zu berücksichtigende externe Parameter in Bezug zum Energiekonzept im Kontext mit dem architektonischen Konzept

	RELEVANZ ARCHITEKTUR	RELEVANZ ENERGY
Klima	Klimagerechte Planung	Makroklima, Mesoklima, Mikroklima, Baumasse; Materialien; Systemwahl
Lage / Orientierung	Städtebau; Stadtbild	Orientierung; Fremd-Verschattung
Externe Infrastruktur	Verkehr, Technikräume	Gas, Fernwärme, Fernkälte, Verkehr, Inselsysteme
Architektonische Parameter	[...]	Gebäudeform; Gebäudehülle; Transparente Flächen; Materialien
Nutzungszonen / Nutzungsprofile	Funktionsabhängig	Temperaturniveaus; Zeitfolgen; angrenzende Zonen / Bauteil
Innenraumklima	Verschattung; Verglasungsanteil; Natürliche Belüftung	Innenraumkomfort; spezifische Anforderungen ⇔ Natürliche Belichtung, Natürliche Belüftung

Standards / Gebäudebewertungs- systeme	Standortnutzung; Materialien	Energiekonzept
Legislative Parameter	Form, Nutzung	Einbindung erneuerbarer Energiequellen (Fassaden, Dachneigung, Denkmalschutz); siehe Abschnitt 2.2 / Regulative
Kosten	Errichtungskosten; Instandhaltung	Operative Kosten; Entsorgungskosten; Lebenszykluskosten; siehe Abschnitt 2.2 / Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme

Tabelle 21: Zu berücksichtigende externe Parameter in Bezug zum Energiekonzept im Kontext mit dem architektonischen Konzept

KLIMA, LAGE UND EXTERNE INFRASTRUKTUR

Betrachtet man die Formen der elementaren Gebäudetypen in den verschiedenen Klimazonen der Erde, so erkennt man, dass sich die autochthone Architektur jeweils den vorherrschenden Umweltbedingungen angepasst hat. Die Wärme der Sonne zu speichern, den Wind zur Kühlung gezielt durch ein Gebäude zu lenken - all diese ‚logischen‘ Entwicklungen setzten ein Auseinandersetzen mit der eigenen Umwelt voraus, das für jede Region eine Notwendigkeit zum Überleben darstellte. Eine eingehende Analyse des örtlichen Klimas bildet demzufolge die Grundlage des energieeffizienten Bauens.

Das Makroklima ist durch die geographische Breite, Höhe über dem Meeresspiegel, Meeresströmungen, Wind- und Luftdruckgürtel bestimmt. Österreich wird dabei in erster Linie vom Kontinentalklima mit relativ kalten Wintern mit hoher Sonnenstrahlung und warmen Sommern beeinflusst. Die Meso-Klimazonen werden von der Topographie, der Lage zu großen Wasserflächen, der Höhe und der Windverhältnisse bestimmt. Für das Mikroklima sind vor allem die Bebauungsart- und -dichte der Umgebung und die Vegetation ausschlaggebend, da sie durch Verschattung und Reflexion maßgeblich die zu erwartende Solarstrahlungssumme beeinflussen können. Eine Klimaanalyse sollte Temperatur (Minimum, Maximum, Häufigkeit, Jahres / Tagesverteilung), Luftfeuchtigkeit (Minimum, Maximum, Häufigkeit, Jahres / Tagesverteilung), Temperatur in Zusammenhang mit Luftfeuchtigkeit, Wind (Richtung, Häufigkeit, Geschwindigkeit) und Solarstrahlung (Direkt, Diffus, Bestrahlungsstärken) untersuchen.

Die Lufttemperatur wird von der Bewölkung, der Jahreszeit, der geographischen Breite als auch anderen Faktoren wie z.B. der Nähe zu Gebirgen oder großen Wasserflächen beeinflusst. Die Sonnenbahn wird durch die geographische Breite bestimmt und ist in Österreich auf Grund der geringen Breitenunterschiede relativ gleich. Die solare Einstrahlung auf die unterschiedlichen Hüllflächen eines Gebäudes ist regional unterschiedlich, abhängig von dem Breitengrad, der Situierung im Gelände, der Höhe der Beschattung, der Reflexion der Umgebung und der Lüftrübung. Diese wird wesentlich von dem Wetter, dem Feuchtigkeitsgehalts der Luft und der Luftverschmutzung bestimmt. Im Gegensatz zum freien Gelände weisen Städte oder dicht besiedelte, fabriksnahe

Gebiete, in denen Abgase aufgestaut werden, für gewöhnlich schlechtere Werte an Sonnenscheindauer und Bestrahlungsstärken.¹¹⁸

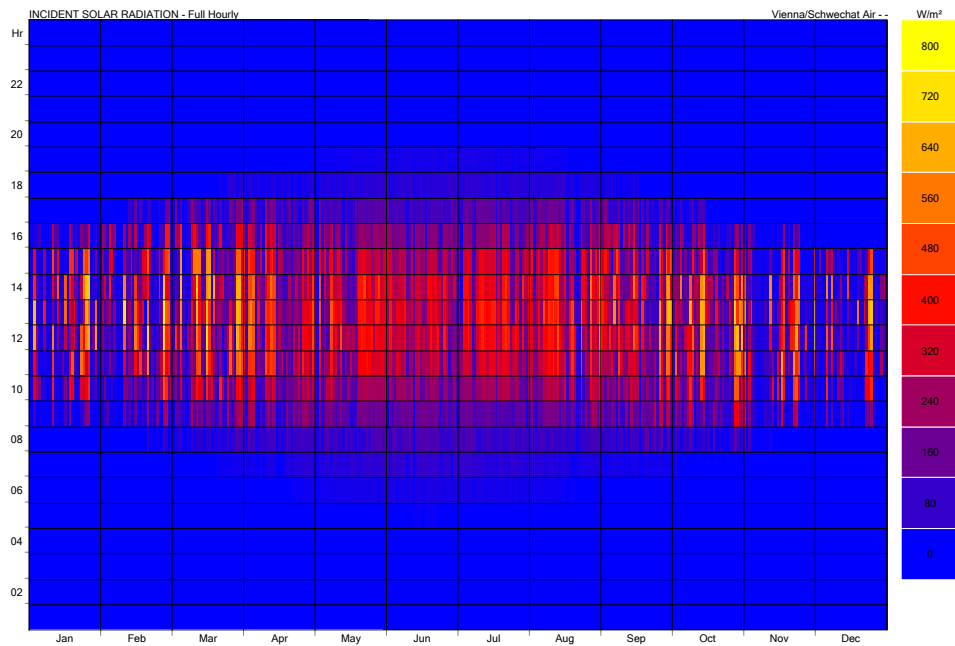


Abbildung 34: Einfallende Solarstrahlung für den Standort Wien auf einer vertikalen Südfassade in W/m^2 nach stündlichen Werten (berechnet in Ecotect¹¹⁹)

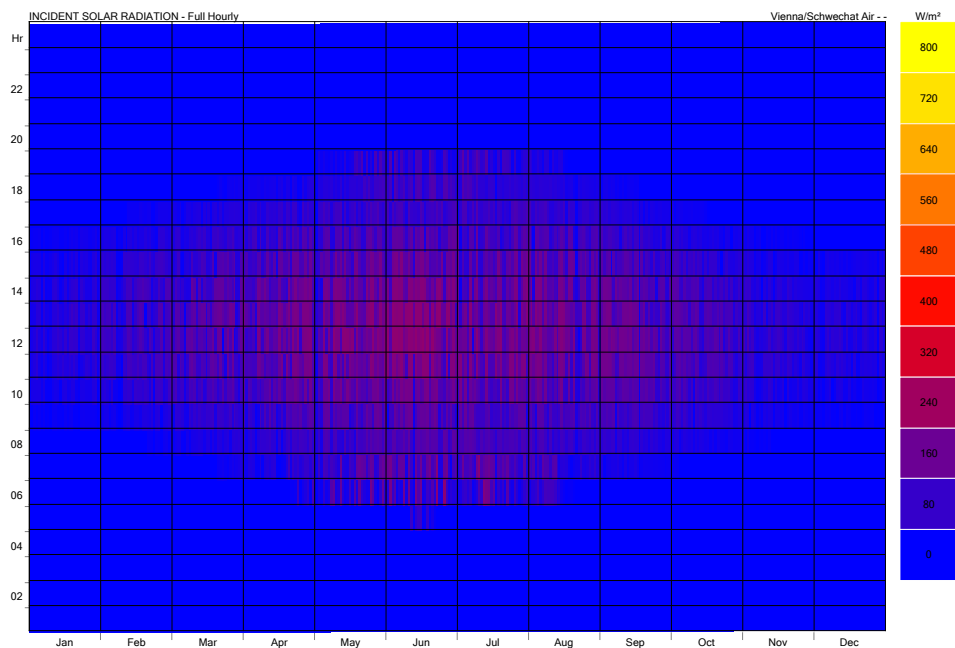


Abbildung 35: Einfallende Solarstrahlung für den Standort Wien auf einer vertikalen Nordfassade in W/m^2 nach stündlichen Werten (berechnet in Ecotect)

Beispielhaft für Wien wird die einfallende stündliche Solarstrahlung jeweils für eine vertikale Südfassade in Abbildung 34 und Nordfassade in Abbildung 35 dargestellt. Dabei

¹¹⁸ Aus Vorlesungsunterlagen ‚Erneuerbare Urbane Energiesystem‘; ‚Energetische Gebäudekonzepte 1‘; Österreicher, 2013

¹¹⁹ Autodesk Ecotect Analysis 2011

sind nicht nur die Jahressummen ($\sim 675 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{a})$ für die Südfassade und $\sim 336 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{a})$ für die Nordfassade) für die Analyse einer Nutzung von solaren Energiesystemen von Relevanz, sondern auch die Verteilung der Strahlungswerte in ihrem Jahresverlauf: auf der Südfassade werden dabei die höchsten Werte im Frühling (März / April) und Herbst (Oktober / November) erreicht. Dies ist durch teilweise klarere Tage in dieser Zeit verursacht und bedingt eine besondere Aufmerksamkeit im Bereich der Verschattung um (ungewollte) Strahlungsintensitäten im Innenraum zu vermeiden. Für thermische dynamische Simulationen, wie sie im Fallbeispiel für diese Arbeit verwendet wurden, werden monatlich gemittelte Werte und damit statistisch aufbereitete Wetterdatensätze verwendet. Für das in Kapitel 4 beschriebene Beispiel wird damit ein Testreferenzjahr genommen. Hier sind kleinere Abweichungen vom real vorliegenden Lokalklima weniger kritisch, da es um Vergleiche unterschiedlicher Varianten geht, für die immer das gleiche Referenzjahr verwendet wird. Um die sommerliche Überwärmung zu prüfen, werden darüber hinaus oft auch Wetterdatensätze von Jahren, die extreme Temperaturwerte in den Sommermonaten aufweisen, der Berechnung zu Grunde gelegt.

Die Lage des Gebäudes bildet vor allem im Hinblick auf die Orientierung der Außenflächen aber auch im Fall von Eigen- und Fremd-Verschattung einen wesentlichen Einflussfaktor für das Energiekonzept. Um die Außenflächen für solare erneuerbare Energiequellen (Solarthermie oder Photovoltaik) zu nutzen, ist es unabdingbar eine detaillierte Analyse der Einstrahlung am Gebäude, unter Berücksichtigung der umliegenden verschattenden Objekte, durchzuführen. Einen weiteren beeinflussenden Faktor stellen die Windverhältnisse eines Standortes dar. Da bei großem Winddruck die Lüftungs- und Transmissionsverluste bei nicht oder schlecht gedämmten Gebäuden bedingt durch die größere Wärmeabfuhr an der Gebäudeoberfläche erhöht werden, können sich ungünstige Windverhältnisse negativ auf den Energiebedarf eines Gebäudes auswirken. Bei Gebäuden mit guter thermischer Hülle ist dieser Einfluss jedoch gering. Die Windverhältnisse werden durch die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung charakterisiert und weitgehend von der Topographie und künstlichen Strömungshindernissen (z.B. Gebäude im urbanen Bereich), von der Vegetation, Temperatur und Dichte der Bebauung und von der Gebäudeform und Gebäudeoberfläche beeinflusst.

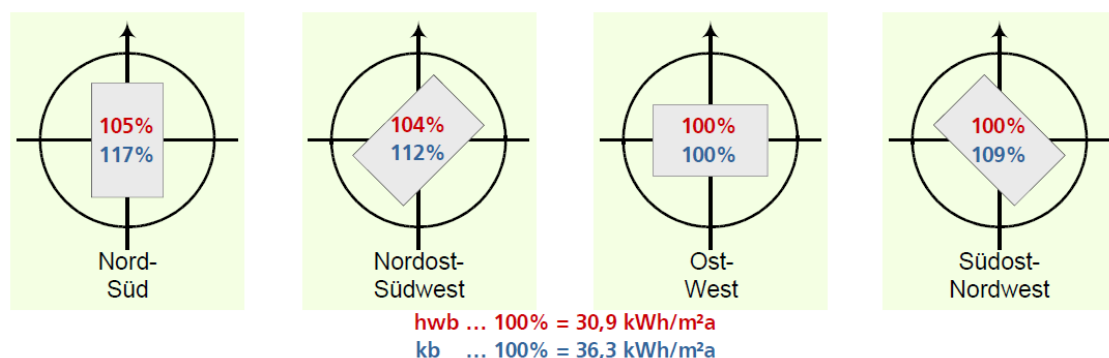


Abbildung 36: Einfluss der Orientierung auf den spezifischen Jahresheizenergie und Jahreskühlenergiebedarf; Variante mit U-Werten lt. Bauordnung; Wiener Wetterdatensatz (Ledinger 2008)

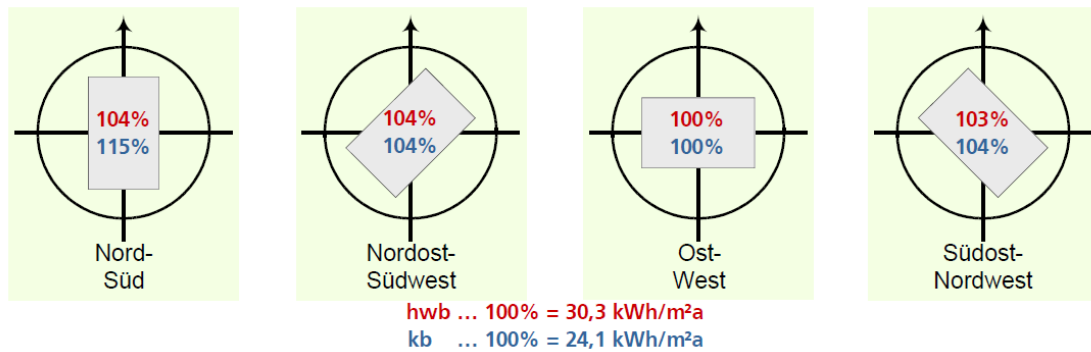


Abbildung 37: Einfluss der Orientierung auf den spezifischen Jahresheizenergie und Jahreskühlenergiebedarf; Variante mit U-Werten lt. Bauordnung mit externer Verschattung; Wiener Wetterdatensatz (Ledinger 2008)

Die Orientierung eines Gebäudes beeinflusst maßgeblich den Heizwärme- als auch den Kühlenergiebedarf. In einer 2008 durchgeführten Diplomarbeit wurde für ein Bürogebäude analysiert, welchen Einfluss die Orientierung auf den Heizenergie- bzw. Kühlenergiebedarf haben kann. Dabei handelt es sich um ein fiktives Gebäude mit Büronutzung, 3 Stockwerken und 650m² Bruttogeschoßfläche. In Abbildung 36 werden beispielhaft der Jahresheizenergie- und Jahreskühlenergiebedarf parametrisiert nach Orientierung dargestellt. Unter der Annahme, dass alle vier Fassadenflächen die gleichen U-Werte¹²⁰ und g-Werte¹²¹ sowie den gleichen Fensterflächenanteil (70%) aufweisen, ergibt sich ein deutlich erhöhter Jahresheizenergie- als auch Jahreskühlenergiebedarf eines Nord-Süd-achsigen Gebäudes im Vergleich zu einem Ost-West-achsigen Gebäudes. Wird externe Verschattung angebracht, so verringert sich die Erhöhung (Abbildung 37), jedoch bleibt die Ost-West-achsige Orientierung die (unter diesen Rahmenbedingungen) energetisch Beste. Die Ergebnisse sind jeweils abhängig von den genauen Eckdaten des Gebäudes. Nichtsdestotrotz kann man die Schlussfolgerungen auf ähnliche Objekte ableiten.

Ebenso wie die Lage und Orientierung des Bauobjekts, beeinflusst die auf einem Grundstück zur Verfügung stehende externe Infrastruktur maßgeblich die Auswahl der Haustechnikkomponenten und damit das Energiekonzept des Gebäudes. In urbanen Gebieten (in Österreich) kann davon ausgegangen werden, dass Grundstücke mit Gas- und Stromanschlüssen versehen sind. Fernwärme oder Fernkälteanschlüsse sind abhängig von der Netzinfrastruktur des Energieversorgers. In Wien hat das Fernwärmenetz einen Anteil von 35% an der Raumwärmedeckung. Damit werden ca. 5,5 Terawattstunden (TWh) Fernwärme bereitgestellt (57,9% aus Abwärme von der Stromerzeugung mit fossilen Energieträgern; 24,7% Müllverbrennung, 9,9% industrielle Restwärme; 2,7% alternative Erzeugung und 4,9% aus fossil befeuerten Anlagen; der gesamte Anteil an erneuerbarer Energie liegt bei 17,4%)¹²². In Wien hat die Fernwärme

¹²⁰ U-Wert = eindimensional; flächenbezogener Leitwert; der flächenbezogene Wärmestrom ist proportional zur Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur; der Proportionalitätsfaktor ist der U-Wert

¹²¹ g-Wert [%] = Gesamtenergiedurchlassgrad: Der g-Wert ist der Gesamtenergiedurchlassgrad von Verglasungen für Sonnenstrahlung im Wellenlängenbereich von 300 nm bis 2.500 nm. Die Größe ist für klimatische Berechnungen von Bedeutung und wird in Prozent ausgedrückt. Der g-Wert setzt sich zusammen aus direkter Sonnenenergieübertragung und sekundärer Wärmeabgabe nach innen infolge langwelliger Strahlung und Konvektion. Der Bemessungswert „g“ für den Gesamtenergiedurchlassgrad wird grundsätzlich nach der europäischen DIN EN 410 bestimmt; aus www.wikipedia.org / Zugriff 06.01.2014

¹²² www.wien.gv.at/umwelt/luft/massnahmen/fernwaerme.html; Zugriff 08.12.2014

damit einen relativen guten Primärenergiefaktor (PEF) und CO₂-Faktor, da ein Großteil der Wärmeenergie aus Abwärme und Müllverbrennung generiert wird - siehe Tabelle 22. Fernkälte ist vor allem für kühllastintensive Gebäudetypen wie z.B. Spitäler oder Bürogebäude relevant. Schulen sollten aus Energieeffizienzgründen prinzipiell natürlich gekühlt werden und damit ohne Fernkälte auskommen.

Primärenergie- und CO₂ Faktoren verschiedener Energieträger

ENERGIETRÄGER	PRIMÄRENERGIEFAKTOR (kWh _{pe} /kWh _{end})	CO ₂ -FAKTOR (kg/kWh Endenergie)
Kohle	1,46	0,337
Heizöl	1,23	0,311
Erdgas	1,17	0,236
Biomasse	1,08	0,004
Strom (Österreich-Mix)	2,62	0,417
Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	1,60	0,051
Fernwärme aus Heizwerk (nicht erneuerbar)	1,52	0,291
Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Default)	0,92	0,073
Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Bestwert)	>0,30	gemäß Einzelnachweis
Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Projektwert; in 3.5 verwendet; Beispiel Fernwärme Wien)	0,368	0,0292
Abwärme (Default)	1	0,02
Abwärme (Bestwert)	>0,30	gemäß Einzelnachweis

Tabelle 22: Primärenergie- und CO₂-Faktoren verschiedener Energieträger, nach (OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz 2011)

Ein spezifischer energierelevanter Aspekt der externen Infrastruktur bezieht sich auf Transportmöglichkeiten (Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz). Die leichte Erreichbarkeit einer Schule mit öffentlichen Verkehrsmitteln bei einer gleichzeitig hohen Frequenz ist eine optimale Voraussetzung für einen Schulstandort.

ARCHITEKTONISCHE PARAMETER

Eine Auseinandersetzung mit der Geometrie eines Gebäudes ist für eine energiesparende Bauweise unabdingbar. Das Verhältnis Oberfläche / Volumen (A/V^{123} -Faktor), das durch die Form, das heißt Kompaktheit und Gliederung des Gebäudes bestimmt wird, stellt einen wichtigen Faktor für den Entwurf dar¹²⁴. Nach (Treberspurg 1994) reicht der A/V -Faktor von 0,75 bei einem freistehenden Einfamilienhaus bis 0,2 bei einer kompakten Bauweise. Halbkugelförmige oder zylindrische Formen können auf Grund einer Verbesserung des A/V -Verhältnisses eine Reduktion des Wärmebedarfs aufweisen. Eine kompakte Bauweise mit größtmöglicher Flächenausnutzung bei gleichzeitig geringster möglicher Fläche gegen die Außenluft, d.h. vor allem auch Einsparung von Erkern, Vorsprüngen und dergleichen, ergibt einen optimalen Typus für einen reduzierten Wärmeverlust. Bei einer Sanierung besteht zumeist nicht die Möglichkeit, die Kubatur des gesamten Baukörpers zu verändern und damit eine Verbesserung des A/V -Faktors zu erreichen. Nichtsdestotrotz kann dieser Faktor durch eine Sanierung verkleinert werden. So können z.B. Vorsprünge und Rücksprünge im Rahmen der Sanierung in eine kompaktere Kubatur verändert werden, auskragende Elemente können in die Dämmhülle eingegliedert werden und offene Bereiche in Atrien umgewandelt werden (sofern damit eine positive Nutzungsveränderung einhergeht).

Abgesehen von der Kubatur hat die Ausführung der Gebäudehülle einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtenergieeffizienz. Das Verhältnis von transparenten zu opaken Flächen spielt dabei eine besondere Rolle: Tageslicht, Wärmeschutz, sommerliche Überwärmung, passive Sonnenenergienutzung sowie Architektur und Fassadengestaltung müssen in Einklang gebracht werden.

Bei der Auslegung der Verglasungselemente ist vor allem die Qualität der Verglasung, die sich über die Materialeigenschaften definiert, zu beachten: thermische Eigenschaften (U -Wert in $[W/(m^2K)]$); g -Wert (siehe Fußnote 121); Lichtdurchlässigkeit (Transparenz) in [%]; Schalldämm-Maß R_w in [dB] und ökologische Kriterien. Darüber hinaus ist die Orientierung, Neigung, Größe sowie die Verschattung zu berücksichtigen.

In der Sanierung besteht hier vor allem Potential zur Verbesserung durch wärmetechnisch hochwertigere Verglasungen und eine Erhöhung der Dämmung der opaken Bauteile. Um ein zu sanierendes Gebäude zu analysieren, kann vor Planungsbeginn ein Luftdichtheitstest durchgeführt werden. Dabei wird ein Gebläse in einer Öffnung angebracht und der Luftvolumenstrom bei Über- und Unterdruck bei einer Druckdifferenz von 50 Pascal bestimmt. Der stündliche Luftwechsel durch Gebäudeundichtheiten wird auf das Raumvolumen bezogen. Dieser ‚nL50-Wert‘ stellt einen Qualitätsnachweis über die Dichtheit der Gebäudehülle dar. Eine Gebäudethermografie gibt darüber hinaus Aufschluss über Schwachstellen in der Gebäudehülle (Wärmebrücken). Dabei werden mit einer thermografischen Aufnahme Temperaturunterschiede auf der Oberfläche von Bauteilen gezeigt. Bei einer Thermografie von außen zeigen wärmere Oberflächen an, wo Wärme verloren geht; bei einer Thermografie von innen ist es umgekehrt.

¹²³ A-V Faktor: Area / Volume Faktor (Fläche / Volumen)

¹²⁴ In Österreich kommt die reziproke Größe V/A zur Anwendung, die ‚charakteristische Länge‘ eines Gebäudes genannt wird

NUTZUNGSZONEN UND INNENRAUMKLIMA

Aus energetischer Perspektive kann man aus der Art und Dauer der Nutzung bestimmte Anforderungen an die thermische, akustische und lichtspezifische Qualität des Innenraums ableiten. In den meisten Gebäudetypologien (Wohnbau, Bürobau, Hotel, etc.) ist die Nutzungsart zumeist an den Raum gebunden. Die Nutzungsdauer und Nutzungsintensität variiert. So werden in einem Büroraum z.B. zumeist sitzende Tätigkeiten ausgeführt. Die Dauer sowie Intensität der Belegung (Anzahl der Personen im Raum) ändert sich im Tagesverlauf. In einem konventionellen Schulgebäude ist dies auch der Fall: die Gangflächen und Korridore sind weniger für ruhende Tätigkeiten als für Bewegung konzipiert, die Klassenräume dagegen vorrangig für sitzende Tätigkeiten. Betrachtet man hingegen innovative Konzepte bzw. Schulformen, in denen sich bewegende Aktionen und ruhende Aktionen in einem Raum abspielen können, so wird eine flexible Nutzungsart der Räume erforderlich.

Schulen werden - wie die meisten Gebäude - nur zu bestimmten Zeiten genutzt, was besonders im Bereich der Haustechnik eine intelligente Regelung voraussetzt, um das Gebäude sinnvollerweise nur dann zu konditionieren, wenn es auch genutzt wird.

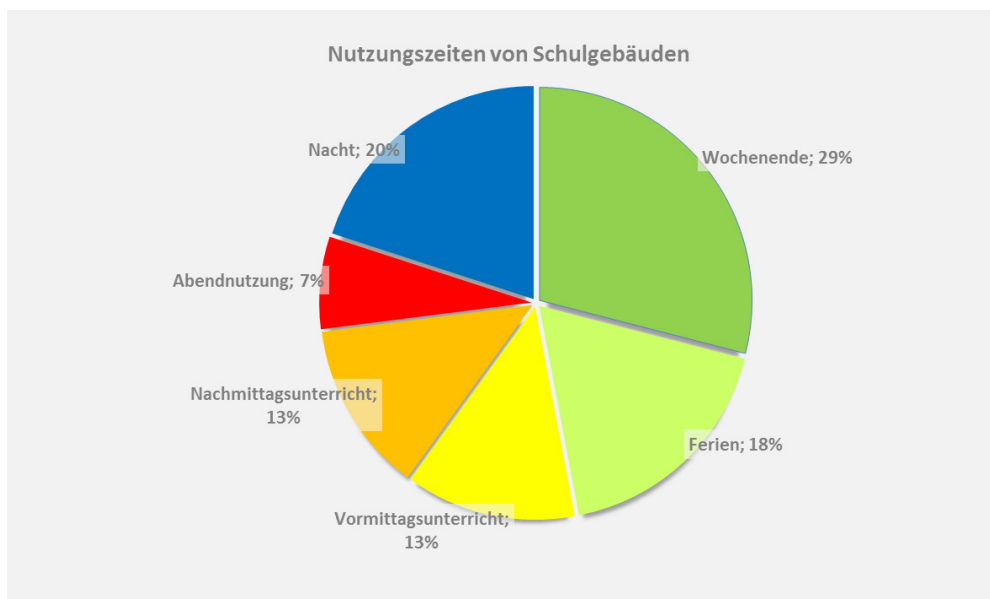


Abbildung 38: Belegungszeiten von Schulgebäuden nach (Reiss 2010)

Eine dahingehende Analyse des Fraunhofer Instituts¹²⁵ (Reiss 2010) zeigt, dass von den 8760 Stunden des Jahres nur jeweils 1.140 Stunden im Jahr die Schulen unter ‚Normalbetrieb‘ und damit nur zu 13% der Zeit genutzt werden (Abbildung 38). Dies bedingt auch ein Energiekonzept, welches flexibel auf Belegungsdichten und Belegungszeiten reagieren kann.

In Abhängigkeit von der Nutzung, muss im Gebäude ein adäquates Innenraumklima hergestellt werden. Ein der jeweiligen Nutzung angepasstes Innenraumklima trägt wesentlich dazu bei, dass wir uns in Gebäuden wohlfühlen. ‚Adäquat‘ bedeutet dabei,

¹²⁵ www.fraunhofer.de

angepasst an die Anforderungen der Nutzer, d.h. das Innenraumklima ist in einem Gebäude zumeist raum- als auch zeitabhängig unterschiedlich. Das Innenraumklima bezieht sich abgesehen von klimaspezifischen Parametern wie Temperatur, Feuchte, Strahlung, Licht und Luftgeschwindigkeit auch auf die Raumluftqualität im Bereich der Lärmbelastung sowie der biologischen (Pilze, Keime) und chemischen Schadstoffbelastung (z.B. durch flüchtige organische Verbindungen, besser unter VOC, *Volatile Organic Compounds*, bekannt). Die Sanierung bietet die Chance auf Schadstoffintensive Produkte, die in älteren Bauwerken oft in Böden oder Wandelementen verwendet wurden, zu verzichten. Eine Vielzahl an alternativen Baustoffen - auch im Bereich der Beschichtungen und Lacke - ermöglichen schadstofffreie Klassenräume. Die Hauptschule in Bezau in Vorarlberg (Annex Projektbeispiel 2) hat bei der Sanierung auf Passivhaus-Standard gänzlich auf Faserdämmstoffe, PVC und andere VOCs verzichtet. Die Sanierung der 1972 errichteten Schule erfolgte über vorgefertigte Holz-Leichtbauelemente mit Dämmung aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ein hoher Innenraumkomfort bei gleichzeitiger Minimierung der Heiz- und Kühllasten und Maximierung der natürlichen Belüftung und Belichtung stehen bei einer energieeffizienten Bauweise im Vordergrund. Die sich auf Grund des einzuhaltenden Innenraumklimas ergebenden Anforderungen beeinflussen demnach wesentlich das Gesamtenergiekonzept eines Gebäudes und damit auch die Architektur, Haustechnik und die Einbindung von erneuerbaren Energietechnologien. Spezifische Anforderungen an das Innenraumklima im Schulbau sind in Abschnitt 2.3 *Spezifische Anforderungen* zusammengefasst.

GEBÄUDEBEWERTUNGSSYSTEME

Gebäudebewertungssysteme können einen Einfluss auf das Energiekonzept haben, wenn der Bauherr ein bestimmtes Zertifikat erreichen will. Im kommerziellen Sektor können diese Zertifikate einen Marktvorteil und damit Anreiz bieten, eine möglichst ‚effizientes‘ Gebäude zu entwickeln. Im öffentlichen Sektor hat sich eine Zertifizierung in der Regel noch nicht durchgesetzt.

Die aktuellen Gebäudebewertungssysteme wurden aus dem Bereich der Bewertung von Umweltauswirkungen bzw. Ökobilanzierung oder LCA (Life Cycle Assessment) entwickelt. Sie fassen damit relevante Inputs und Outputs für ein definiertes System zusammen und ermöglichen dadurch die Evaluierung der potenziellen Umwelteinflüsse, die mit diesen Inputs und Outputs in Verbindung gebracht werden können. Die Auswahl der Baustoffe und Baukonstruktionen sollte unter anderem auch nach ökologischen Kriterien erfolgen. CO₂-Äquivalente in Baukonstruktionen sowie Profile über Funktionalität und Lebensdauer liefern Kriterien in Bezug auf Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit (Stieldorf 1997).

Bis 1990 war die Anwendung von Bewertungssystemen primär auf Produkte, Prozesse und Unternehmen beschränkt. 1990 wurde vom britischen Building Research Establishment (BRE) das erste international dokumentierte, umweltorientierte Gebäudebewertungs- und Zertifizierungssystem entwickelt mit dem Ziel, Ökobilanzierung auch auf das komplexe System Gebäude anwendbar zu machen. Die Bewertungssysteme

sollten dabei vor allem transparent, unabhängig, freiwillig, holistisch, kundenorientiert und basierend auf einem umfassenden Kriterienkatalog sein.

In diesem Abschnitt werden jene Bewertungssysteme abstrahiert beschrieben, die am österreichischen Markt zu finden sind: die beiden österreichischen Systeme ÖGNI¹²⁶ und ÖGNB¹²⁷, das deutsche DGNB¹²⁸, sowie das britische BREEAM¹²⁹ und das US-amerikanische LEED¹³⁰ System. Die beiden letzteren werden vor allem bei Projekten mit internationaler Beteiligung (Gebäudeeigentümer oder Gebäudeentwickler) angewendet. Ihnen kommt daher als Zertifizierungssystem für den Schulbau nur eine untergeordnete Bedeutung zu. Nichtsdestotrotz soll hier im Detail vor allem auf das britische BREEAM-System eingegangen werden. Da die meisten Systeme anderer Länder später entwickelt wurden, bauen sie in vielen Grundzügen auf dem BREEAM System auf. So hat sich z.B. das Österreichische ÖGNI Bewertungssystem direkt aus dem deutschen DGNB System entwickelt, welches wiederum auf BREEAM aufbaut. Die Grundzüge dieser Systeme sind damit mit dem britischen vergleichbar. Ziel der Analyse der einzelnen Kriterien ist es, diejenigen im Bereich Schulsanierung zu identifizieren, die einen Einfluss auf die Entwicklung des Raumprogramms haben und damit die Synergien von einer energetischen Sanierung mit Anpassung der Architektur an neue Schulformen unterstützen.

BREEAM (UK)

Das BREEAM Bewertungssystem wurde 1990 vom britischen BRE (*Building Research Establishment*)¹³¹ entwickelt. Das System definiert Standards und Kriterien für verschiedene Gebäudetypologien und ist die weltweit am häufigsten verwendete Gebäudezertifizierung.

BREEAM Education (BRE 2012) wurde dabei eigens für den Schulbau entwickelt und kann für die Planung, Bau und Sanierung von Schulgebäuden angewendet werden. Für die umfangreiche Bewertung, der eine Vielzahl an Maßnahmen zu Grunde liegt, werden insgesamt 9 Themenbereiche analysiert¹³²:

- *Management* ⇨ ganzheitliche Management-Strategien, Betriebs- und Prozessmanagement
- *Health and Wellbeing* ⇨ Gesundheit und Behaglichkeit: innen- und außenraumbezogene Faktoren
- *Energy* ⇨ Energie: Verbräuche und CO₂-Reduzierung
- *Transport* ⇨ Transport: durch Verkehr ausgelöster CO₂-Ausstoß und standortbezogene Faktoren
- *Water* ⇨ Wasser: Verbrauch und Effizienz

¹²⁶ Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft / www.ogni.at

¹²⁷ Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen / www.oegnb.net

¹²⁸ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft / www.dgnb.de

¹²⁹ Building Research Establishment Environmental Assessment Method / www.bre.org

¹³⁰ Leadership in Energy and Environmental Design / www.usgbc.org/leed

¹³¹ www.bre.org / Zugriff 16.08.2013

¹³² www.difni.de/system/kategorien.html / Zugriff 15.05.2015

- *Materials* ⇒ Material: Umwelteinwirkungen bzw. Auswirkungen von verwendeten Baustoffen, einschließlich Life-Cycle-Auswirkungen
- *Waste* ⇒ Abfall: Abfallaufkommen und effiziente Vermeidung
- *Land Use and Ecology* ⇒ Boden und Ökologie: ökologische Werterhaltung und Aufwertung des Standorts; Faktoren für Sicherheit und Vermeidung von Störfällen
- *Pollution* ⇒ Umweltverschmutzung: Minimierung der Risiken für Luft und Wasser
- *Innovation* ⇒ Innovation; ergibt sich aus exzellenten Bewertungen ausgewählter Maßnahmen anderer Themenbereiche

Im Folgenden sollen lediglich die Maßnahmen herausgestrichen werden, die einen maßgeblichen Einfluss auf das Raumprogramm bzw. die architektonische Neugestaltung bei Sanierungsprojekten haben können und damit eine vertiefte Betrachtung benötigen. Eine Vielzahl der Maßnahmen aus anderen Bereichen beschäftigt sich mit den Themen Haustechnik, Nutzereinbindung, erneuerbare Energien und Materialien, die in einer umfassenden Sanierung jedenfalls auch berücksichtigt werden sollen.

Kriterien aus BREEAM Education mit einem maßgeblichen Einfluss auf das Raumprogramm bei Sanierung von Schulbauten

NR.	NAME	ZIEL DER MASSNAHME
HEA 1	Daylighting	To give building users sufficient access to daylight. At least 80% of floor area in occupied spaces for pre-school [...] is adequately daylit; siehe auch Abschnitt 2.3 / Licht
HEA 2	View Out	To allow occupants to refocus their eyes from close work and enjoy an external view, thus reducing the risk of eyestrain and breaking the monotony of the indoor environment.
HEA 7	Potential for natural ventilation	To recognise and encourage adequate cross flow of air in naturally ventilated buildings and flexibility in air-conditioned / mechanically ventilated buildings for future conversion to a natural ventilation strategy.
HEA 10	Thermal Comfort	To ensure, with the use of design tools, that appropriate thermal comfort levels are achieved.
HEA 11	Thermal Zoning	To recognise and encourage the provision of user controls which allow independent adjustment of heating / cooling systems within the building.
ENE 1	Reduction of CO ₂ - Emissions	To recognise and encourage buildings that are designed to minimise the CO ₂ -Emissions associated with their operational energy consumption.
ENE 5	Low or Zero	To reduce carbon emissions and atmospheric pollution by

	Carbon Technologies	encouraging local energy generation from renewable sources to supply a significant proportion of the energy demand.
ENE 10	Free Cooling	To reduce the dependency of the building on conventional mechanical refrigeration to provide adequate thermal comfort conditions.

Tabelle 23: Kriterien aus BREEAM Education mit einen maßgeblichen Einfluss auf das Raumprogramm bei Sanierung von Schulbauten; Auszüge nach (BRE 2012)

Für Sanierungsvorhaben in Schulgebäuden (Sekundär- und Tertiärstufen) hat das BRE bereits 1997 einen Leitfaden herausgegeben. Hier wird unter anderem auch die Wichtigkeit eines Monitoring hervorgehoben, um Langzeitmessungen durchführen zu können (BRE 1997).

LEED (USA)

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) wurde 1998 vom USGBC (US Green Building Council) auf Basis von BREEAM entwickelt und definiert eine Reihe von Standards für umweltfreundliches, ressourcenschonendes und nachhaltiges Bauen. Bewertet werden fertiggestellte Gebäude, bestehende Gebäude und Neubauten in den verschiedenen Planungsphasen und in folgenden Kategorien: *Water efficiency, Energy and Atmosphere, Materials and Resources, Indoor Environmental Quality, Innovation in Operations and regional Priority, Sustainable Sites*¹³³. *LEED for Schools* definiert dabei speziell für den Schulbau entwickelte Kriterien und folgt damit einem ähnlichen Kriterienkatalog wie *BREEAM Education*.

DGNB (DE)

Das DGNB (Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen) wurde 2008 gemeinsam vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) als ein umfassendes Bewertungssystem für nachhaltige Gebäude entwickelt. Es basiert auf ähnlichen Prinzipien wie BREEAM und LEED und umfasst ca. 60 Kriterien in sechs Themenfeldern womit alle drei Bereiche der Nachhaltigkeit (ökologische, ökonomische und soziokulturelle Qualität) abgedeckt werden.

ÖGNI (AUT)

Die Österreichische Gesellschaft für nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) wurde 2009 gegründet und verfolgt das Ziel, die Nachhaltigkeit der österreichischen Immobilienwirtschaft zu fördern, die Schaffung von umweltschonenden, Ressourcen sparenden und langfristige wirtschaftliche und soziale Anforderungen berücksichtigenden Gebäuden zu forcieren. Die ÖGNI ist über Kooperationsvertrag mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) verbunden, wobei das Deutsche

¹³³ www.usgbc.org/leed / Zugriff 30.12.2014

Gebäudezertifizierungssystem der DGNB für Österreich im Rahmen der ÖGNI übernommen und adaptiert wurde.

ÖGNB (AUT)

Die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB) wurde 2009 auf Initiative namhafter, unabhängiger Institutionen im Bereich des nachhaltigen Bauens in Österreich im Jänner 2009 ins Leben gerufen und versteht sich als Dachorganisation für all jene Unternehmen, Institutionen und Einzelpersonen, die an einer Höherqualifizierung der österreichischen Bauwirtschaft im Sinne des nachhaltigen Bauens interessiert sind. Gebäudebewertungssysteme, die unter dem Dach der ÖGNB weiterentwickelt werden, basieren auf den Standards von klima-aktiv¹³⁴, werden als ‚offener Standard‘ erarbeitet und sind damit frei verfügbar. Ähnlich dem BRE bildet die Zertifizierung die Themenbereiche Standort + Ausstattung, Wirtschaftlichkeit + Technische Qualität, Energie + Versorgung, Gesundheit + Komfort und Baustoffe + Konstruktion ab. Von den im Annex unter Abschnitt 8.4 dokumentierten Projektbeispielen wurden sowohl die Schule Schwanenstadt (Projektbeispiel 1) als auch die Schule Loebendorf (Projektbeispiel 7) mit ÖGNB zertifiziert.

Im Juli 2013 wurde mit der Bildung der Austrian Sustainable Building Platform (ASBP) eine gemeinsame Repräsentation der österreichischen Gebäudebewertung im internationalen Umfeld geschaffen und damit eine Kooperation der beiden Gesellschaften festgelegt¹³⁵.

Gebäudebewertungssysteme leisten einen essentiellen Beitrag zur Verankerung nachhaltigkeitsrelevanter Themen in der Baubranche und der Schaffung neuer Standards. Dennoch können diese Systeme nur einen relativ eindimensionalen Aspekt der komplexen Zusammenhänge von Entscheidungskriterien im Bauprozess abdecken. Basierend auf einer Studie über eine Vielzahl von Bewertungssystemen schlägt Ding in (Ding 2007) vor, eine Multi-Kriterien-Methode in Form eines ‚Sustainability Index‘ anzuwenden. Diese sollte in der Lage sein, auf Basis unterschiedlicher Gewichtungen, komplexe Entscheidungen im Bauprozess Richtung Ressourcenminimierung und Energieeffizienz adäquater abzudecken.

¹³⁴ Klima aktiv ist die Klimaschutzinitiative des BMLFUW; www.klimaaktiv.at

¹³⁵ www.oegnb.net / Zugriff 15.05.2015

2.6. Haustechnik-Komponenten und erneuerbare Energietechnologien

Um den Anforderungen der neuen pädagogischen Raumkonzepte zu entsprechen, die nicht nur einzelne Räume jeweils einer unveränderbaren Nutzung zuschreiben, muss auch die Haustechnik mit innovativen Konzepten Unterstützung leisten. In diesem Abschnitt werden demnach zu Beginn die **Anforderungen an die Gebäudekonditionierung** zusammengefasst. Dabei gilt es, nicht für jeden Raum ein passendes Raumklima zu entwerfen, sondern vielmehr interne Klimazonen, die sich den unterschiedlichen Begebenheiten anpassen können. Das heißt weg von Räumen, die einer bestimmten Nutzung zugeschrieben werden (und damit aus haustechnischer Sicht mit statischen Soll-Temperatur- oder Feuchtwerten definiert werden) und hin zu einer dynamischen Regelung, angepasst an den (zumeist temporären) Nutzungsbedarf. Das erfordert einerseits ein Umdenken in der Planung und andererseits auch eine andere Herangehensweise im Bereich der Haustechnik.

Im Rahmen des Projekts SchulRen+¹³⁶ wurden Faktoren identifiziert, die, in Bezug auf die Auswahl der Haustechnikkomponenten, im Rahmen einer Schulsanierung gesondert zu beachten sind (Dubisch, et al. 2012). Der Fokus liegt im Folgenden auf den für die Schulsanierung relevanten Komponenten der Haustechnik. Die **Lüftungssysteme** bilden dabei einen eigenen Schwerpunkt, da eine ausgezeichnete Luftqualität essentiell für eine gesunde Lernumgebung ist. Die für die Schulsanierung relevanten Parameter im Bereich der **Erneuerbaren Energietechnologien** sind im darauffolgenden Abschnitt zusammengefasst. **Regelungstechnik und Monitoring** sind vor allem bei Gebäuden mit stark variablen Belegungszeiten und Zonierungen für einen effizienten Gebäudebetrieb unbedingt erforderlich werden im abschließenden Abschnitt beschrieben.

ANFORDERUNGEN AN DIE GEBÄUDEKONDITIONIERUNG

Nachdem der Gesamtenergiebedarf soweit als möglich reduziert werden soll, muss auf eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs bei gleichzeitiger Reduzierung des Strombedarfs geachtet werden. Besonders bei Lüftungsanlagen sollten demnach relevante Einflussgrößen wie Kanallänge, Kanalkreuzungen und hohe Strömungsgeschwindigkeiten, sowie der Grad der Wärmerückgewinnung (WRG) mit dem Strombedarf der Anlage in Einklang gebracht werden. Die Anlage sollte demnach effizient geplant werden, um den erforderlichen Strombedarf möglichst gering zu halten.

Viele Schulen haben noch ein veraltetes Heizsystem, welches weder unterschiedliche Belegungsdichten, noch schnelle Aufheizzeiten ermöglicht. Meist sind auch unterschiedliche Gebäudeteile von einer gemeinsamen Heizzentrale versorgt, obwohl es auch andere Nutzungen, wie z.B. Hausmeisterwohnungen in Schulgebäuden gibt. Diese haben naturgemäß andere Belegungszeiten als der Schulbetrieb. In einer beispielhaften Sanierung einer deutschen Grund- und Hauptschule, welche mit einem hochtemperierten

¹³⁶ „SchulRen+ / Innovative Konzepte für Schulsanierungen auf Plus Energie Niveau“; Projekt Nummer 827183; das Projekt ist Teil der Ausschreibung „Haus der Zukunft Plus“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Direkt-Dampfheizsystem ausgestattet war, wurde alleine durch den Austausch der Heizung in einen Gas-Brennwertkessel für die Grundlast und einen Niedertemperaturkessel für die Spitzenlast, eine Effizienzsteigerung erzielt. Variantensimulationen haben zudem ergeben, dass niedrige Solltemperaturen im Innenraum mit Einzelraumregelung eine höhere Effizienz als hohe Solltemperaturen mit Thermostaten ergeben (Gintars 2002).

Um eine sommerliche Überwärmung zu vermeiden, und adäquate Raumlufttemperaturen zu gewährleisten, müssen geeignete Maßnahmen zur Lüftung und gegebenenfalls Kühlung der Klassenräume gesetzt werden. Bypässe in der Lüftungsanlage, sowie die Verwendung von Rotationswärmetauschern, mit denen die Wärmerückgewinnung reguliert werden kann, verhindern das Eindringen warmer Luft in die Innenräume während des Sommers. Auch wenn die heißesten Tage des Jahres im Sommer und damit während der Schulferien anfallen können – Gebäude müssen hinsichtlich einer flexiblen Nutzung immer sommertauglich gebaut bzw. saniert werden.

Als weitere Lüftungsstrategie kann Nachtlüftung hier zusätzlich Abhilfe schaffen. In einer umfassenden Studie, die Lüftungsparameter in Schulgebäuden hinsichtlich Energieeffizienz und hoher Luftqualität untersucht, wurden auch einzelne Parameter-Varianten mit Nachtlüftung simuliert, die Zu- oder Abluft durch vorgelagerte Korridore vorkühlen- oder heizen. Im Sommer sollte dabei Außenluft direkt über Fenster in die Klassenräume zur Vorkühlung gezogen werden und über Korridore an die Außenluft abgegeben werden. Unter Tags sollte im Winter Außenluft über Korridore in die Klassenräume gezogen werden, im Sommer sollte die Frischluft direkt über Fenster in die Klassenräume gelangen und die verbrauchte Luft über die Korridore abgezogen werden. Dadurch ergaben sich bis zu 30% Energieeinsparung für nördlich gelegene Klassenzimmer und bis 18% Energieeinsparung für südliche Räume (Beckera, Goldbergera und Paciukb 2006). Obwohl die Studie für ein mediterranes Klima ausgelegt war und demnach die Temperaturunterschiede unterschiedlich zu unseren Breitengraden sind, so lässt sich doch daraus der Schluss ziehen, dass über ein Nachtlüftungssystem Energieeinsparungen möglich sind.

LÜFTUNGSSYSTEME

Im Folgenden werden Lüftungssysteme, die vor allem in der Schulsanierung zur Anwendung kommen, im Detail beschrieben, um die jeweiligen Vor- und Nachteile bzw. geeignete Anwendungsfälle zu verdeutlichen.

Im Rahmen der Erstellung eines umfangreichen Planungsleitfadens zum Thema Klassenzimmerlüftungen (Gremel 2008) wurden auch zahlreiche andere Studien, die zwischen 2001 und 2007 in Österreich und der BRD zum Thema Raumluftqualität erstellt wurden, analysiert: „...Als Gesamtresümee der Studien kann festgestellt werden, dass mit diesen hinreichend der Nachweis erbracht wurde, dass mit Fensterlüftung – auch bei motivierten Nutzern - keine ausreichende Luftqualität in Schulen erreicht wird...“. Unter anderem werden auch Studien zitiert, die die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit beschreiben (siehe Abschnitt 2.3 / Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität).

Wargocki kommt in (Wargocki und Wyon 2013) zu dem Ergebnis dass eine hohe Frischluftzufuhr die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit erhöhen kann: In der Studie zur Innenraumluftqualität wurde festgestellt, dass eine erhöhte Frischluftzufuhr (von 3,0l auf 9,5l/s) als auch eine reduzierte Temperatur (von 25°C auf 20°C) die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit der Schüler signifikant erhöhen kann. Die Testergebnisse zeigen damit, dass eine hohe Luftqualität in Schulen den Lernprozess fördert (Wargocki und Wyon 2013).

Besonders im Hinblick auf den derzeit ablaufenden Klimawandel (Temperaturerhöhung der Außenluft) und erhöhte Luftdichtheit (Gebäudedichtheit nimmt durch Sanierungen zu) können durch unzureichende Lüftung nicht nur die CO₂ Konzentrationen, sondern auch die Temperaturen im Innenraum zunehmen. Jenkins hat dazu in (Jenkins, Peacoc und Banfill 2008) eine Parameterstudie für Schulen in Großbritannien durchgeführt. Das Ergebnis zeigt, dass in einem 2030 Szenario (mit einer Annahme von ~1°C Erhöhung der Durchschnittstemperatur) ohne zusätzliche Lüftung die Anzahl der Stunden mit Temperaturen über 28°C in den untersuchten Klassenräumen signifikant über den von CIBSE¹³⁷ empfohlenen Werten liegen.

Im Hinblick auf die Lüftungsarten wird zwischen natürlicher und mechanischer Lüftung bzw. hybriden Lüftungssystemen unterschieden. In (AEE Intec et al 2013) wurden sowohl für natürliche als auch für mechanische Lüftung jeweils drei prinzipielle Funktionsweisen unterschieden, die im Nachfolgenden dargestellt werden.

Abbildung 39 zeigt die drei Grundprinzipien der natürlichen Lüftung: einseitige, beidseitige- oder Querlüftung und die sogenannte Kaminlüftung.

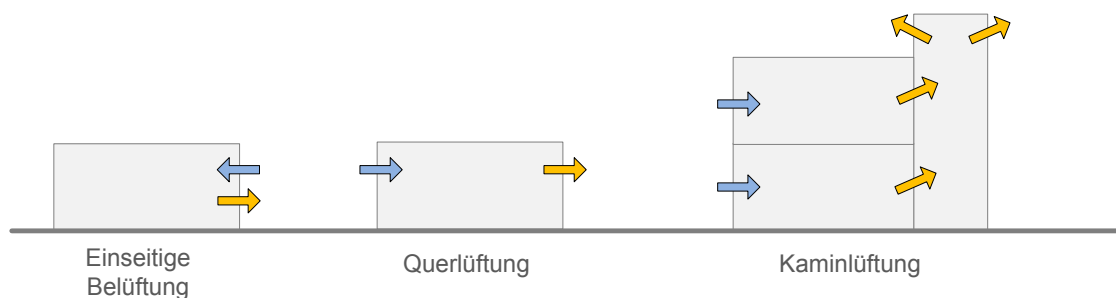


Abbildung 39: Arten natürlicher Belüftung nach (AEE Intec et al 2013)

Bei natürlicher Belüftung ist auch auf die baulichen und klimatischen Begebenheiten zu achten, d.h. sowohl Fenstergröße, Fensterneigung und bauliche Hindernisse als auch Richtung, Häufigkeit und Stärke des Winds spielen eine Rolle und sollten im Vorfeld untersucht werden. Die Nachtlüftung ist eine Besonderheit der natürlichen Lüftung und funktioniert nur mit einer hohen thermischen Masse im Innenraum: hier wird durch mechanische gesteuerte Öffnungen der Innenraum in der Nacht vorgekühlt und nimmt

¹³⁷ Chartered Institution of Building Services Engineers; www.cibse.org/

untertags die Wärme vom Innenraum auf und speichert diese. Natürliche Lüftungssysteme haben den Vorteil der Einfachheit des Systems (manuell und / oder mechanische gesteuerte Öffnungen), eine hohe Nutzerakzeptanz, sowie geringe zusätzliche Kosten. Nichtsdestotrotz ist bei einem gut gedämmten und dichten Gebäude mit einer hohen Nutzungsintensität - wie einer Schule - eine mechanische Lüftung unumgänglich. Sie sorgt für einen hohen Innenraumkomfort bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz. Hybride Systeme, d.h. Systeme, die sowohl mit natürlicher als auch mit mechanischer Lüftung arbeiten, können die Vorteile beider Komponenten miteinander verbinden.

Die Integration von mechanischen, natürlichen oder hybriden Lüftungskonzepten hängt auch von der Baustruktur ab, da Lüftungskomponenten auch in die Hüllflächen (zumeist die Fassade) integriert werden können. Im Forschungsprojekt ‚School VentCool‘¹³⁸ wurden Lüftungs- und Kühlstrategien für hoch effiziente Schulsanierungen untersucht und basierend auf zwei Fassadentypologien (siehe Abbildung 40) Entscheidungsparameter definiert.



Abbildung 40: Darstellung einer Punktfassade (Massivbau) und Fassade bestehend aus Fassadenelementen (Skelettbau) aus (AEE Intec et al 2013)

Bei Sanierungen ist der Einbau von mechanischen Systemen jedoch zumeist mit baulichen und architektonischen Herausforderungen verbunden: Lüftungsgeräte und Leitungssystem benötigen Platz und müssen in den Bestand integriert werden. Geringe Deckenhöhen, fehlender Platz für Schächte und zusätzliche Technikräume sowie geschützte Fassaden, die keine Lüftungsauslässe ermöglichen sind - abgesehen von den relativ hohen Investitionskosten - zu berücksichtigen.

Besonders zu beachten sind auch ‚Luftkurzschlüsse‘: diese entstehen, wenn die Öffnungen für das Ansaugen der Luft und der Fortluftauslass nicht weit genug voneinander entfernt sind. Bei zentralen Anlagen spielt dies in den meisten Fällen keine Rolle, da die Öffnungen nicht nebeneinander liegen. Bei dezentralen Systemen können Luftkurzschlüsse leichter entstehen, da auf Grund der baulichen Gegebenheiten oft beide Öffnungen nah beieinander liegen können.

Mechanische Lüftungen lassen sich in zentrale Lüftungsanlagen, dezentrale Systeme mit mehreren Lüftungseinheiten und dezentrale Lüftungseinheiten mit Kompaktlüftungsgeräten (wie in Abbildung 41 dargestellt) zusammenfassen. Reine Abluftsysteme bilden die baulich einfachste und kostengünstigste Variante: die Außenluft strömt über Zuluft-Klappen in den Klassenraum ein, wird dort erwärmt und wieder

¹³⁸ www.schoolventcool.eu

abgesaugt. Die Zuluft wird dabei zumeist über CO₂- und Temperatursensoren gesteuert, um einen adäquate Luftwechsel zu ermöglichen. Problematisch wird das System bei niedrigen Temperaturen. Hier wird entweder zu wenig Frischluft zugeführt, um die Temperatur nicht zu weit abzusenken, oder es besteht die Gefahr der Zugluft bei einer höheren Zulufrate. In einer Studie an einer norwegischen Schule wurde ein derartiges System untersucht und die oben beschriebenen Problematiken aufgezeigt. Als Schlussfolgerung wurde eine adaptierte Regelungsstrategie der Frischluftzufuhr vorgeschlagen, die unter anderem auch einen höheren CO₂ Schwellenwert (bei der untersuchten Schule wurde bereits bei 800ppm CO₂ Gehalt die Lüftung aktiviert) vorsieht (Mysena 2004).

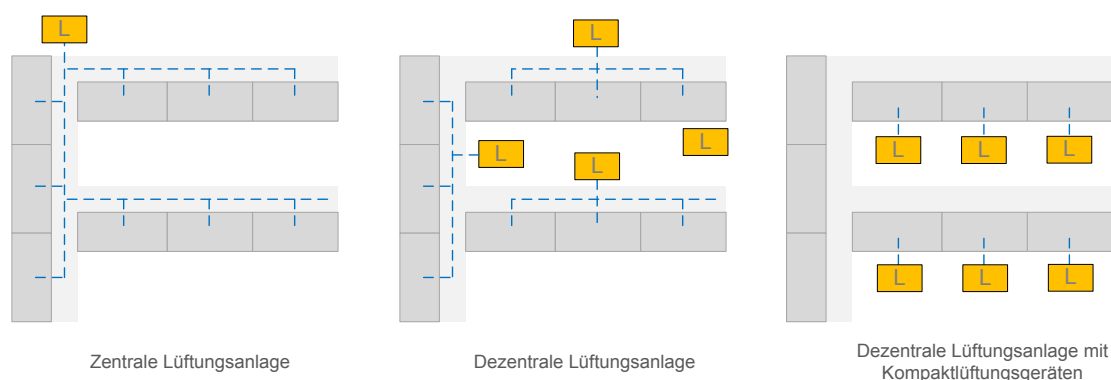


Abbildung 41: Arten mechanischer Belüftung nach (AEE Intec et al 2013)

Um eine höhere Energieeffizienz zu erreichen, sind zentrale oder dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung jedenfalls vorzuziehen. Um eine zu große Entfeuchtung der Luft zu vermeiden, sollten regenerative Wärmetauscher (Wärmeräder) eingesetzt werden (Klima, et al. 2006). Besonders im Winter ist auf Grund des relativ kleinen, absoluten Feuchtigkeitsgehalts der Außenluft im Winter auf eine gute Luftfeuchtigkeit in den Klassenräumen zu achten. Der bauliche Aufwand kann bei zentralen Systemen größer sein, da hier die Leitungsführung bis zu den Lüftungssystemen berücksichtigt werden muss. Dezentrale Systeme müssen in die Fassade eingebunden werden, was wiederum architektonisch im Fassadendesign gelöst werden muss. In der Volksschule Mäder in Vorarlberg (Annex Projektbeispiel 10) wurde eine CO₂-gesteuerte, zentrale Lüftungsanlage im Zuge der Passivhaussanierung installiert. Durch die kompakte Bauweise und relativ geringe Nutzfläche (2000m²) war in diesem Beispiel die zentrale Anlage einer dezentralen vorzuziehen. Die Sanierung auf Passivhaus-Standard in der Volksschule St. Leonhard in Kärnten (Annex Projektbeispiel 9) wendet ein vergleichbares System an. Bei einer ähnlichen Nutzfläche (1809m²) kommt auch hier eine zentrale Lüftungsanlage zum Einsatz.

Eine weitere Steigerung der Effizienz der Lüftungsanlagen kann durch eine Vorkühlung- bzw. Vorwärmung der Außenluft über das Erdreich erfolgen. In der Volksschule Lind ob Velden in Kärnten (Annex Projektbeispiel 8) wurde z.B. im Zuge der Sanierung auf Passivhaus-Standard eine Frischluftansaugung über einen Erdkollektor installiert.

In einem Leitfaden zur Sanierung von Schulbauten in Deutschland haben (Klima, et al. 2006) unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen analysiert. Unter anderem wurden unterschiedliche Lüftungssysteme für Schulen verglichen, die auch in laufenden Projekten zur Anwendung kamen. In Tabelle 24 sind die Vorteile und Nachteile dreier für den Schulbau typischer, mechanischer Lüftungssysteme zusammengefasst.

Vergleich mechanischer Lüftungskonzepte:

KRITERIEN	Abluftanlage	Zentrale Lüftungs- anlage mit WRG	Dezentrale Lüftungs- anlage mit WRG
Energieverlust	hoch	niedrig	mittel
Hilfsenergie (Ventilatoren)	niedrig	mittel	hoch
Kosten	niedrig	hoch	hoch
Brandschutztechnische Maßnahmen	mittel	hoch	niedrig
Raumschutztechnische Maßnahmen	niedrig	niedrig	niedrig
Wartungsaufwand	niedrig	mittel	hoch
Manipulationsfähigkeit	niedrig	niedrig	hoch
Platzbedarf	niedrig	hoch	hoch
Materialaufwand	niedrig	hoch	niedrig
Schall / Lärm	mittel	niedrig	mittel

Tabelle 24: Vergleich mechanischer Lüftungskonzepte nach (Klima, et al. 2006)

Wenn natürliche Lüftungssysteme intelligent konzipiert sind, können sie jedoch eine durchaus sinnvolle Alternative zu kostspieligeren und wartungsintensiveren mechanischen Lüftungssystemen darstellen. In einem Projekt einer Wiener Schule wurde ein Lüftungssystem als ‚Versuchs- und Forschungsobjekt‘ installiert. In den Klassen im letzten Stockwerk wurden Abluftrohre über Schächte über das Dach geführt. Die Luft wird dabei durch Autorotationsventilatoren durch den natürlich entstehenden Unterdruck in den Klassenzimmern abgeführt. Die Zuluft erfolgt über Spaltfensteröffnungen oder Überstromelemente in der Gangtrennwand (Jäger-Klein 2012). Der Nachteil des Konzepts ist die verringerte Energieeffizienz: im Winter strömt kalte Außenluft in die Klassenräume. In der allgemeinen Sonderschule 04 in Linz (Annex Projektbeispiel 4) wurden für ein Nachtlüftungskonzept eigene Lüftungsflügel entwickelt. Die Nachtlüftung funktioniert in diesem Beispiel durch die Ausnutzung natürlicher, physikalischer Phänomene

(Kamineffekt). Unabhängig von der Art der Lüftung muss das Brandschutzkonzept des bestehenden Gebäudes bei der Planung der Lüftungsanlage berücksichtigt werden. Besonders bei einer zentralen Lüftungsanlage müssen Sicherheitsklappen in Rohrleitungen eingebaut werden um das Ausbreiten von Feuer und den entstehenden Emissionen zu verhindern. Bei der Sanierung ist vor allem auch der Platzbedarf zusätzlicher Haustechnikkomponenten zu berücksichtigen. Eine zentrale Anlage benötigt einen eigenen Haustechnikraum, in dem das zentrale Gerät aufgestellt wird. Bei der Integration eines Verteilnetzes der horizontalen und vertikalen Zu- und Abluftleitungen müssen vor allem auch die Raumhöhen der Klassen berücksichtigt werden. Die Lüftungsanlage muss auch mit dem Brandschutzkonzept abgestimmt werden.

ERNEUERBARE ENERGIETECHNOLOGIEN

Erneuerbare Energietechnologien spielen vor allem in einem urbanen Umfeld eine immer größere Rolle. Die dezentrale Energieversorgung nimmt zu und Hüllflächen werden vermehrt auch zur Energieerzeugung herangezogen. Besonders öffentliche Bauten haben durch ihren Vorbildcharakter einen besonderen Stellenwert und ein hohes Replikationspotential.

Im Wesentlichen kommen in einem urbanen Umfeld fünf Technologien im Bereich der erneuerbaren Energietechnologien zum Einsatz: Kleinwindkraftanlagen (KWKA), Photovoltaik (PV), Solarthermie (ST), Wärmepumpen (WP) und Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Biomasse. Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Einbindung erneuerbarer Energietechnologien sind in Abschnitt 2.2 / Regulative dargestellt. Im Folgenden soll in einer kompakten Übersicht auf die wesentlichen technischen bzw. architektonischen Aspekte der Kleinwindkraftanlagen, PV- und Solarthermie-Integration eingegangen werden. Der Fokus liegt dabei auf dem Sanierungsaspekt.

Bei der Integration von erneuerbaren Energietechnologien ist vorab eine Reihe von Fragestellungen in einer Bestandsanalyse zu klären. In einer Diplomarbeit welche im Rahmen des Projekts SchulRen+ erstellt worden ist, wurden für Photovoltaik, Solarthermie, Lüftungssystem und Wärmepumpen jeweils ‚für die Schulsanierung wichtige Auswahlkriterien‘ erstellt (Werfring 2012). Der Fokus der Arbeit lag dabei auf Systemen, die speziell für Plus-Energie Sanierungen zur Anwendung kommen können.

Auf Spezifika der Wärmepumpe und des Blockheizkraftwerks wird hier nicht gesondert eingegangen, da diese beiden Technologien aus der Perspektive der architektonischen Integration keine speziellen Anforderungen darstellen. Wie bei allen Systemen ist jedoch auf die adäquate Wahl des Heizverteilungssystems (Hoch-, Mittel-, Niedertemperatur) und eine effiziente Auslegung der Wärmebereitstellungssysteme zu achten. Bei der Anwendung von Wärmepumpen im Bereich der Geothermie ist im urbanen Umfeld eine Analyse des Energiebereitstellungspotentials durchzuführen, vor allem, wenn bei angrenzenden Bauten bereits (Tiefen-)Geothermie zur Anwendung kommt. Bei Biomasse-Systemen ist in erster Linie auf die Zulieferung bzw. die Lagerung des Brennstoffs und die mögliche Belastung durch Feinstaub, die durch entsprechende Filter reduziert werden kann, zu achten.

Kleinwindkraftanlagen

Kleinwindkraftanlagen sind im Stadtgebiet relativ selten zu sehen. Als Kleinwindkraftanlagen werden im internationalen Kontext Anlagen mit einer Leistungsgrenze von 100kW beschrieben. Im urbanen Kontext und in Bezug zu Gebäudeintegration sind Anlagen über 10kW unüblich. KWKA spielen zurzeit in der Gebäudeintegration eine untergeordnete Rolle. In Wien wurde (Stand 2014) bis jetzt nur eine einzige gebäudeintegrierte Anlage installiert (siehe 2.2 / Regulative). Weniger die rechtlichen Rahmenbedingungen, als ästhetische Überlegungen zum Stadtbild stehen einer verbreiteten Umsetzung im Weg. In der Sanierung kommen darüber hinaus noch Aspekte der Statik dazu. Das Bestandsgebäude muss sowohl die Last, als auch die durch die Turbine hervorgerufenen Vibrationen auffangen können. Muss dazu das Bauwerk nachträglich verstärkt werden, können hohe Sanierungskosten entstehen, die möglicherweise einer wirtschaftlichen Betrachtung nicht standhalten.

Photovoltaik

Die Einbindung von Photovoltaik (PV) in die Gebäudehülle (Fassade oder Dach) kann entweder durch aufgesetzte Teile oder integriert erfolgen (Gebäudeintegrierte Photovoltaik, GIPV). Bei der GIPV ersetzt das PV-Modul die äußere Fassaden- oder Dachhaut und damit ein Baumaterial. Werden PV-Module direkt in die Fassade als Fassadenelemente integriert, so ist besonders auf eine gute Durchlüftung des Fassadensystems zu achten. In einem Testbetrieb einer Multifunktionalen ‚Plug and Play‘ Fassade (MPPF) wurden mittels CFD Simulationen offene und geschlossene Hohlräume hinter PV-Modulen untersucht. Das Ergebnis zeigt, dass GIPV eine Durchlüftung benötigt (Brandl, et al. 2014). Eine zu geringe Wärmeabfuhr kann sowohl zur Überhitzung der Elemente und damit einer Beeinträchtigung der Effizienz, als auch einer erhöhten Wärmeabgabe in die dahinerliegenden Räume führen.

Es gibt bereits eine Vielzahl an verschiedenartigen Modulen, die sich auch durch unterschiedliche Texturen und Farben bereits gut architektonisch einbinden lassen. Sowohl opake als auch transparente Elemente können mit PV-Modulen versehen bzw. im Fall von transparenten und semi-transparenten Modulen von diesen ersetzt werden. Die generierte Energie sollte in erster Linie den Eigenbedarf des Gebäudes decken und erst in zweiter Linie in das Stromnetz eingespeist werden, um Leitungs- und Speicherverluste zu minimieren. Klein-Systeme, die direkt Funktionen im Gebäude versorgen, stellen eine besonders effiziente Art der Integration dar. So können z.B. PV-Lamellen, die als Verschattung eingesetzt werden auch die Stromversorgung für die Bewegung der Verschattungselemente bereitstellen. Bei der Anwendung von PV im urbanen Gebiet ist darauf zu achten, dass die Module möglichst frei von Verschattung installiert sind, da dies die Effizienz des Gesamtsystems maßgeblich beeinträchtigt. Verschattungsanalysen lassen sich relativ einfach mit gängigen Architektur-Renderings bzw. spezifischer Analyse-Software (z.B. Ecotect¹³⁹) durchführen.

¹³⁹ usa.autodesk.com/ecotect-analysis

Die Investitionskosten stellen nach wie vor eine Barriere in der verbreiteten Umsetzung von PV in der Gebäudeintegration dar. Die Höhe der Investitionskosten wird bestimmt durch die Modulart (kristalline Module, Dünnschicht-Module) bzw. den Modulaufbau, sowie durch Standard- oder Sonderlösungen. Werden GIPV Systeme verwendet, so sind in der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit jedenfalls die Kosten des ersetzten Materials (Stein, Glas in der Fassade bzw. Dachdeckung am Dach) miteinzubeziehen (Fechner, Sehnal, et al., Gebäudeintegrierte Photovoltaik Teil 1 2009).

Einer Empfehlung der Studie Gebäudeintegrierte Photovoltaik des Klima- und Energiefonds folgend sollen öffentliche Gebäude verpflichtend mit Photovoltaik ausgestattet werden. Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV) sollte zudem über einen längeren Zeitraum intensiv gefördert werden. Ziel wäre es beispielsweise 50 öffentliche Bauten mit einer GIPV Anlage auszustatten (Fechner, Sehnal, et al., Gebäudeintegrierte Photovoltaik Teil 2 2009).

Solarthermie

Die Integration von Solarthermie in die Gebäudehülle ist im Gegensatz zur PV-Integration durch die wasserführenden Elemente wesentlich komplexer, wenn man architektonisch qualitätsvolle Lösungen der Integration in die Fassade betrachtet. Eine nachträgliche Anbringung am Dach stellt normalerweise die einfachste Art der Applikation dar. Bautechnisch aufwändiger ist die Integration von Solarthermie in die Hüllflächen. Für eine derartige Integration sind Flachkollektoren mit ihrem mehrschichtigen Aufbau besonders gut geeignet. Sie können die Gebäudehülle konstruktiv ersetzen, da der verglaste Absorber die wasserdichte Außenhülle und die Wärmedämmung hinter dem Absorber die Gebäudedämmung übernimmt. Vakuum-Röhrenkollektoren sind für eine vollständige Integration weniger geeignet, können jedoch als Teil einer Balkonbrüstung, als Verschattungselement oder als Absturzsicherung eingesetzt werden (Amtmann, et al. 2012).

Hier ist - wie auch bei der PV - auf die adäquate Orientierung bzw. Neigung der Kollektoren zu achten, um eine größtmögliche Effizienz zu erzielen. Zusätzlich zur Verschmutzung der Kollektorgläser ist auch auf Kondensatbildung im Kollektor zu achten (Amtmann, et al. 2012). Wichtig ist auch die gesamtheitliche Betrachtung des Systems (Bedarfsermittlung, Temperaturniveau, Brauchwasserversorgung, Heizwasserversorgung, Leitungsführung, Speicher, etc.).

Ein gelungenes Beispiel eines ganzheitlichen Konzepts, welches die Solarthermie eines Schulbaus in ein Nahwärmenetz integriert, findet sich in einem Schulsanierungsprojekt bei Karlsruhe (Schneider 2009). Ziel war eine umfassende Sanierung der Schul- und Sportanlagen und ein solarer Deckungsgrad von 40%. Mit einer 1600m² großen solaren Anlage werden über einen 4500m³ Kies-Wasser-Langzeitwärmespeicher der Schulkomplex, sowie über das Nahwärmenetz angeschlossene Gebäude versorgt. Die Gesamtanlage wurde im Vorfeld eingehend simuliert, um den erwünschten Deckungsgrad zu erzielen.

REGELUNGSTECHNIK UND MONITORING

Auch wenn sowohl die Analysemöglichkeiten durch die Anwendung von thermisch dynamischer Gebäudesimulation, Strömungssimulation oder Tageslichtsimulation als auch die Komponenten und Systeme der Haus- und Gebäudetechnik im Vergleich zu den Ausführungen der letzten beiden Jahrhunderte heute anders aussehen, so sind die Grundprinzipien und Anforderungen gleich geblieben: die qualitativ hochwertige thermische Behaglichkeit, Belüftung und Belichtung. Eines der wesentlichsten Ziele eines umfassenden Energiekonzepts ist dabei, diese Anforderungen zu einem großen Anteil durch passive Systeme abzudecken, um eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erreichen (siehe dazu auch Ausführungen in 2.5.)

Die Abstimmung der Gebäudehülle bzw. Gebäudestruktur mit der Anlagentechnik und Gebäudeautomation beeinflusst dabei maßgeblich die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes. In einer umfassenden Studie hat die Hochschule Biberach zahlreiche Studien und Projektergebnisse untersucht, die Effizienzthemen in Gebäudeprojekten als Inhalt haben. Die Meta-Studie kommt dabei zum Schluss, dass reine betriebliche Maßnahmen (Energiemanagements, Nutzerverhalten, Monitoring) ein Einsparpotential von 5-20% aufweisen und eine Amortisationsdauer von weniger als einem Jahr haben können. Maßnahmen im Bereich der Anlagentechnik weisen in den Studien ein Einsparpotential von 10-60% und eine Amortisationsdauer von 2-10 Jahren auf. Maßnahmen im Bereich der Gebäudehülle haben ein Einsparpotential von über 50%, jedoch eine Amortisationsdauer von 10-60 Jahren (Knoll und Becker 2012). Daraus kann abgeleitet werden, dass vor allem auch bei Sanierungsvorhaben der Fokus auf Anlagen- und Regelungstechnik gelegt werden sollte, insbesondere wenn ein geringes Investitionskapital zur Verfügung steht.

Die Aufgabe der Architektur und Haustechnik ist es, Anforderungen an einen optimalen Innenraumkomfort jederzeit mit einem möglichst geringen Energieverbrauch zu erfüllen. Dies setzt auch voraus, dass Informationen über den aktuellen Zustand des Gebäudes (Belegung, Temperatur, Feuchte, Licht etc.) zu den jeweiligen Systemen (Verschattung, öffentbare Elemente, Heiz-System, Lüftungssystem etc.) gelangen. Durch den Einsatz von Mess-Systemen in Klassenräumen kann gewährleistet werden, dass auch während des Betriebs die jeweiligen Soll-Werte eingehalten werden. Vorrangig sind dabei Temperatur- und Feuchte-Sensoren, CO₂-Sensoren als auch Tageslicht- und Bewegungssensoren im Einsatz. Nur eine intelligent umgesetzte Regelungstechnik kann gewährleisten, dass in einer effizienten Art und Weise auf die nötige Flexibilität in Bezug auf Nutzungsart, Nutzungsdauer und Nutzungsintensität eingegangen werden kann.

Das Nutzerverhalten hat, unabhängig vom Gebäudetyp, einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes. Besonders in Schulgebäuden, wo sich unterschiedliche Nutzer zu variablen Zeiten in Räumen bewegen, ist es essentiell die Auswirkungen des Nutzerverhaltens zu berücksichtigen. In einer Studie der TU Wien wurde z.B. das Nutzerverhalten in Bezug zu Beleuchtung und Beschattung in einem Universitätsgebäude analysiert. Die Bedienung der Verschattungselemente hängt der Studie zufolge von der Orientierung der Fassade, dem Tageszeitpunkt, dem Tageslicht als

auch thermischen Faktoren im Innenraum ab. Generell wird die Verschattung im Sommer stärker benutzt als im Winter. Das Ergebnis zeigt auch, dass unter einer Beleuchtungsstärke von 100lx elektrisches Licht eingeschaltet wird, aber erst ab einer Beleuchtungsstärke von über 1000lx das Licht auch wieder ausgeschaltet wird. Ob ein Nutzer bei Verlassen des Raums das Licht ausschaltet, hängt darüber hinaus davon ab, für welchen Zeitraum er den Raum verlässt. Theoretisch können 69% der elektrischen Beleuchtungsenergie durch Tageslicht- und Belegungssensoren eingespart werden (Ambeva-Szepessy 2007). Eine durchdachte Lichtplanung sollte demnach Teil jeder Sanierung sein. Im Plus-Energie-Neubau der Grundschule in Hohen Neuendorf (Annex Projektbeispiel 12) in Deutschland wurde z.B. eine Beleuchtungssteuerung installiert, die sowohl Präsenz- als auch raumtiefenabhängig agiert.

Bereits im IEA Annex 15 in einer der ersten Arbeitsgruppen die sich mit dem Thema Energieeffizienz in Schulen auseinandersetzen, wurde im Endbericht als Schlussfolgerung die Wichtigkeit eines Energie-Monitorings hervorgehoben um ein kontinuierliche Verbesserungsmaßnahmen im laufenden Betrieb vornehmen zu können bzw. die Grundlage für Sanierungsmaßnahmen zu legen (IEA 1991).

2.7. Gestaltungsperspektiven im Schulbau

Form follows kid's fiction (Bartels 2009)

Kinder kommen mit Neugier und Forschergeist ausgestattet zur Welt. Unsere Aufgabe ist es, dies auch durch eine passende Architektur zu fordern und zu fördern. Ziel muss es daher sein, eine inspirierende Lernumgebung für unsere Kinder zu schaffen.

Die Einbindung der Nutzer in den Gestaltungsprozess ist gerade im Schulbau einer der essentiellen Grundlagen zum Erfolg: wie stellen sich Kinder ihre Schule vor, wie sehen sie ihre Lernumgebung, in der sie tagtäglich mehrere Stunden verbringen und was regt sie zum Lernen, Denken und Forschen an?

In einem Essay zu Österreich 2050 – Fit für die Zukunft (Spiel, Bildung 2050 - Die Schule der Zukunft 2013) beschreibt Spiel ihre Vision von der Schule der Zukunft: *„...Im Jahre 2050 ist die Schule ein Ort, am dem die SchülerInnen sich wohl fühlen, und der gleichzeitig ihr Lernen unterstützt. Es gibt die Möglichkeit, sich zurückzuziehen für stilles Arbeiten allein, die Möglichkeit, in einer Gruppe zu arbeiten, die Möglichkeit, Wände beiseite zu schieben, um SchülerInnenversammlungen abzuhalten oder gemeinsam Feste zu feiern...“*

Spiel beschreibt dabei auch, dass die Schule als Lernort positiv besetzt und attraktiv sein soll und damit auch Gemütlichkeit und ein Sich-wohl-fühlen erfordert. *„...Damit Schule ein Ort ist, der Lernen und Wohlfühlen gezielt unterstützt – sowohl für SchülerInnen als auch für Lehrpersonen - bedarf es auch der Umsetzung entsprechender Raumkonzepte...“*

„...Bei Bau oder Sanierung von Bildungseinrichtungen in Österreich sollten im gesamten Prozess (Vorbereitung = Formulierung von Zielen, Durchführung, Nachbereitung) ArchitektInnen, die sich mit Bildungsräumen auseinandersetzen sowie einschlägige WissenschaftlerInnen der Bildungsforschung (Psychologie, Soziologie, Erziehungswissenschaften, etc.) einbezogen werden, um Bildungsräume zu schaffen, die nachhaltig Lernmotivation und Kompetenzen zum lebenslangen Lernen fördern und unterstützen...“ (Spiel, Schabmann, et al. 2010)

Die Architektur der ‚neuen‘ und damit auch der zu sanierenden Schulen soll – in Einklang mit den oben beschriebenen Kriterien hinsichtlich energetischer und komfortbedingter Parameter - in erster Linie die oft zitierte neue ‚Lernkultur‘ fördern. Nach (Opp 2010) bedingt dies, dass die *„...Lernenden Schlüsselqualifikationen wie Kommunikationsfähigkeit, Kooperationsbereitschaft, Problemlösungsfähigkeit, Verantwortungsbereitschaft, Selbstvertrauen und nicht zuletzt Teamfähigkeit, insbesondere auch bei der Bearbeitung gesellschaftlicher Schlüsselprobleme, erwerben. Anstelle eines rasch veralteten Faktenwissens sind in der Informationsgesellschaft Handlungskompetenz und die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen gefragt...“*

„...Die Förderung von pädagogisch-räumlichen Innovationen, die sich architektonisch unter anderem als ‚Offene Lernstraßen‘, ‚Differenzierte Lernsituationen‘ und ‚Lernräume im Freien‘ manifestieren, sollte bei der Ressourcenverteilung für die Sanierung und den Neubau von Bildungseinrichtungen eine deutlich größere Rolle spielen als bisher. Insbesondere bei der Sanierung, die in den nächsten Jahren einen großen Teil der

Ressourcen beanspruchen wird, sollte diese Innovation einen zumindest gleich hohen Stellenwert erhalten wie die aus ökologischen Gesichtspunkten motivierte thermische Verbesserung...“ (Spiel, Schabmann, et al. 2010)

In Wien wurde vor allem durch das Schulbauprogramm 2000 der Stadt Wien¹⁴⁰ wieder eine neue Diskussion um die architektonische und funktionale Qualität der Schulen initiiert. Im Rahmen dieser Offensive wurden wesentliche architektonische Akzente gesetzt. In den Jahren 1993 bis 1999 wurden dabei fast 60 Volks- Haupt- und Sonderschulen Neu- oder umgebaut. Durch die zahlreichen, oftmals durch Wettbewerbe, geführten Neubauten wurde der Schulbau ins Zentrum der architektonischen Diskussion geführt. Dies zeigt sich auch durch Teilnahme zahlreicher in den 90er Jahren namhafter Architekten an diesem Projekt. Untere anderen führten Hermann Czech, Günther Domenig, Hans Hollein, Wilhelm Holzbauer, Rüdiger Lainer, Gustav Peichl, Boris Podrecca, Elsa Prochazka und Helmut Richter Schulbauten im Rahmen dieses Programms durch (Chramosta 1996). In einer Rückschau des Wiener Schulbaus beschreibt Hellmayr eine Vielzahl dieser Bauten und führt an, dass bereits Anfang der 90er Jahre der damalige Planungsstadtrat Hannes Svoboda Leitlinien für eine Initiative im Bildungsbau definiert hat. Dabei sollten die Voraussetzungen für den Ganztagsbetrieb in den Schulen geschaffen werden (Hellmayr 2003).

Walden beschreibt dazu in ihrem Buch zur Schule der Zukunft folgende Paradigmen für die neue Schule: *„...Schule muss Lern- und Lebensstätte sein / Schule führt zu Sinneserfahrung / Schule als Entfaltungsraum für handlungsorientierte Aktivitäten / Schule gewährt individuelle Vielfalt und Teamverfahren / Schule ermöglicht soziales Lernen / Schule ist ein Begegnungsort / Schule, ein Stück Leben / Schule, ein Stück Demokratie / Schule, ein Stück Privatheit und Öffentlichkeit / Schule als bauliches, wohnliches, ästhetisches, ökonomisches und nachhaltiges Vorbild...“* (Walden und Borrelbach 2006)

Wenn wir von Gestaltungsperspektiven reden, so immer auch im Kontext der spezifischen Anforderungen, die der Schulbau mit sich bringt aber auch den gesetzlichen Rahmenbedingungen. Diese im Kontext einer kreativeren Entwicklung des Schulbaus aufzulösen, sollte ein Anliegen derer sein, die die neuen pädagogischen Konzepte auch in der Umsetzung um gebauten Raum sehen wollen. Peter Hübner und Arno Lederer von der TU Stuttgart plädieren in (Bartels 2009) dafür, die Quadratmeter nicht nach Klassenzimmern festzulegen, sondern nach Schülerzahlen insgesamt. Die Klassenzimmer könnten damit aufgelöst werden und mit Gangflächen bzw. Pausenflächen variabel kombiniert werden, was insgesamt einen kreativeren Umgang in der Planung ermöglichen würde. *„...Die Aufgabe lautet einen Lernraum zu organisieren, eine Lernumgebung, oder wie wir sagen: einen Lebensraum...“* Peter Hübner in (Bartels 2009) *„...Für die Architektur heißt dies,...vor allem Erfahrungs- und Bewegungsräume schaffen. Abschied von einer Schule des Stillsitzens. Abschied vom Lernen im Gleichschritt und der ganzen Kasernenchoreographie...“* (Bartels 2009).

Watschinger et al fassen in ihrem Werk ‚Schularchitektur und neue Lernkultur‘ auch diesbezügliche Empfehlungen für die Überarbeitung der Schulbaurichtlinien zusammen:

¹⁴⁰ <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/architektur/oeffentliche-bauten/schulbauten/> Zugriff 21.03.2015

„...Bei der Überarbeitung der Schulbaurichtlinien ist unbedingt den Prinzipien der Flexibilität und Schülerorientierung Rechnung zu tragen; in Zukunft sollen Gemeinden / Schulen über die Schulbaurichtlinien ‚Gesamtlernflächen‘ zur Verfügung gestellt werden...“ (Watschinger 2007). In den Südtiroler Schulbaurichtlinien sind Richtlinien bereits hinsichtlich Flächenzuordnungen adaptiert: Quadratmeterangaben in Schulbauten werden darin nach Gesamtflächen und Schülerzahlen und nicht nach Klassenzimmergrößen definiert (Autonome Provinz Bozen - Südtirol 2008). Dudek plädiert in (Dudek 2011) nach eingehender Analyse einer Vielzahl von internationalen Schulbauten, dass die Identifizierung des Schülers mit dem Gebäude nur über eine Differenzierung der Lernlandschaften erfolgen kann. Oder anders ausgedrückt: eine Aneinanderreihung von Klassenzimmern entlang eines gleichförmigen Korridors keine Identifizierung möglich macht. Räume können damit ‚schlechte Lehrer‘ sein, wenn Sie den Nutzern keine Potentiale eröffnen (Dudek 2011).

Architektur vermittelt damit auch Werte, wenn gleich auf subtile Art und Weise. Der Ort der Schule alleine unterstützt die Wichtigkeit des Lernens. Die Größe, Anordnung und Ausführung lassen auf die allgemeine Wertschätzung schließen. Der Schulbau als Funktionsgebäude in Vergleich zu anderen Gebäuden ist dabei von äußerster Wichtigkeit. Zweckmäßigkeit in modernen Schulbauten sollte damit nicht den psychologischen Aspekt verdrängen, dass Schulbauten auch immer Werte vermitteln, womit positive Signale gesetzt werden können (Helgi 2008).

Was bedeutet dies aber nun für die Architektur und für die Architekten, die diese Anforderungen umsetzen sollen? Was ist die Herausforderung um den neuen Schulbau? Was verändert sich und welche alten Paradigmen sind überhaupt noch notwendig?

Die Gestaltungsperspektiven ergeben sich dabei klar aus den (neuen) Anforderungen:

Die Schulen der Zukunft werden über einen längeren (Tages)Zeitraum genutzt werden. Sie müssen daher Raumflächen bieten, die die Schüler über den gesamten Tagesablauf begleiten können und damit **Geborgenheit und Offenheit**, Sicherheit und Transparenz zugleich anbieten.

Die Schulen der Zukunft sollen **den Forschergeist wecken**. Sie sollen anregen, Neues zu entdecken und Altes zu hinterfragen, **Raum für Experimente** lassen und Möglichkeit der Entfaltung bieten.

Die Schulen der Zukunft werden **flexibel** genutzt. Eine Unterteilung in Gruppenarbeit, Einzelarbeit, Rückzug, Gemeinschaft muss möglich sein

Die Schulen der Zukunft bieten eine adäquate Architektur mit **visuellen Beziehungen zwischen** innen und außen, Licht und Schatten, Rhythmus und Ordnung, Farben und Formen und sprechen damit alle Sinne an.

Schulen der Zukunft müssen sowohl Lebensräume als auch Forschungsräume sein.

3. Methodik

Dieses Kapitel beschreibt die Methodik, die der Entwicklung von energie- und räumlich-funktional optimierten Sanierungskonzepten zu Grunde liegt. Die **Gebäudeanalyse (Abschnitt 3.1)** bildet den ersten Schritt eines Sanierungsvorhabens und beschreibt dabei den Ist-Zustand des Gebäudes und seines Kontexts. Im Anschluss an die Analyse folgt die Erstellung des **Zielbildes (Abschnitt 3.2)**, welches ergebnisorientiert in der Konzepterstellung verfolgt werden sollte. **Abschnitt 3.3** beschreibt eine prinzipielle Vorgehensweise, die bei der **Erstellung von Energiekonzepten** - unabhängig von Neubau oder Sanierung - angewendet werden kann. In **Abschnitt 3.4, Modularer Aufbau ganzheitlicher Sanierungskonzepte im Schulbau**, wird die in 3.3 beschriebene Methodik in modulare Teilbereiche aufgegliedert und beschreibt, fokussiert auf die Thematik der Schulsanierung, die Synergien und Wechselwirkungen zwischen energetischer Sanierung und neuen Raumanforderungen in Schulbauten. Die **Bewertung der Sanierungskonzepte (Abschnitt 3.5)** bildet den Abschluss des dritten Kapitels und führt zu dem in Kapitel 4 dargestellten Beispiel über.

3.1. Gebäudeanalyse

Zu Beginn jeder Optimierung steht eine eingehende Analyse des Ist-Zustandes. Im Folgenden werden dabei typische Problemstellungen der Sanierung definiert. Die Analyse sollte dabei im Wesentlichen folgende Bereiche umfassen: **Baualter und Kontext, Baustruktur** sowie **Energierrelevante Parameter**. Die Analyse des Ist-Zustandes folgt damit in den Grundzügen den in Abschnitt 2.4 vorgestellten Typologien und setzt sich in der Methodik, die in den weiteren Abschnitten beschrieben wird, fort.

In Tabelle 25 sind als Übersicht relevante Themenfelder, die im Rahmen einer Schulsanierung analysiert werden sollten, aufgelistet. In der Analyse ist darauf zu achten, welche Aspekte im Rahmen einer Sanierung veränderbar sind bzw. in welchem Ausmaß Adaptierungen durchgeführt werden können. So ist besonders bei der Sanierung von denkmal- oder ensemblesgeschützten Gebäuden im Bereich der Baustruktur darauf zu achten, adäquate Maßnahmen auszuwählen.

Gebäudeanalyse: Übersicht der relevanten Themenfelder

THEMENFELD	ANALYSE	VERÄNDERBAR
BAUALTER UND KONTEXT	Baualter	Nein
	Klima	Nein / ausgenommen Mikroklima; z.B. durch Wasserflächen oder Vegetation
	Lage	Nein

	Externe Infrastruktur	Nein
	Stadtbild	Nein
BAUSTRUKTUR	Fassaden / Hüllflächen	Ja / eingeschränkt bei Denkmal- oder Ensembleschutz
	Grundriss	Ja / eingeschränkt bei Denkmalschutz
	Baukörper	Ja / eingeschränkt bei Denkmalschutz
	Statisches System	Ja / eingeschränkt bei Denkmalschutz
ENERGIERELEVANTE PARAMETER	Belegung und spezifische Anforderungen	Ja / in Abhängigkeit vom Schulbetrieb
	Haustechnik und Energieversorgung	Ja
	Energiekennzahlen Bestand	Ja

Tabelle 25: Gebäudeanalyse: Übersicht der relevanten Themenfelder

In den folgenden Abschnitten werden die in Tabelle 25 beschriebenen Themenfelder im Bereich der Gebäudeanalyse im Detail beschrieben.

BAUALTER UND KONTEXT

Baualterklassen geben einen ersten Ansatz zur Analyse des Gebäudes. Das **Baualter** definiert die Periode, in dem das Gebäude errichtet wurde, und lässt Rückschlüsse auf die zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Konstruktionstechniken und Materialien zu. Die historischen, bauhistorischen, politischen, ökonomischen und sozialen Aspekte der unterschiedlichen Baualterklassen wurden in zahlreichen Vorarbeiten dargestellt, die in Abschnitt 2.1 ‚Entwicklung von Schulgebäuden‘ und in Abschnitt 2.4 ‚Typologien‘ in Auszügen dargestellt sind. Für Gebäude, die in den letzten beiden Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts gebaut wurden, kann mit dem Errichtungsjahr auch die zu diesem Zeitpunkt gültige Bauordnung und damit energierelevante Parameter (U-Werte¹⁴¹, Energiekennzahlen) festgestellt werden. Eine Analyse der Bauarten und Techniken, die zum Zeitpunkt der Errichtung eingesetzt wurden, sowie die Durchsicht der Originalpläne (und Pläne von Umbauten) sind ein erster Schritt in der Analyse. Eine Begehung des zu sanierenden Gebäudes liefert Einblicke in den aktuellen Zustand. Dieser ist auch stark abhängig von der Wartung, bereits getätigten Sanierungsarbeiten und möglichen baulichen und strukturellen Schäden. Neben schriftlichen und visuellen Daten bilden die

¹⁴¹ U-Wert = eindimensional; flächenbezogener Leitwert; Der flächenbezogene Wärmestrom ist proportional zur Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur; der Proportionalitätsfaktor ist der U-Wert

Schulwarte und andere an der Erhaltung der Schulen beteiligte Fachexperten (z.B. aus den jeweiligen Magistraten und Bezirksämtern) eine wichtige Informationsquelle. Sie haben ein Schulgebäude oft über viele Jahre begleitet und kennen mehr Details, als sie aus Plänen und Begehungen ersichtlich werden könnten.

Der Kontext des Gebäudes gehört wie auch das Baualter zu den ‚nicht veränderbaren Parametern‘. Dazu zählen Klima, Lage und externe Infrastruktur.

Das Mikroklima ist, sofern die dafür notwendigen Freiflächen vorhanden sind, durch Vegetation oder Wasserflächen beeinflussbar; siehe dazu auch Abschnitt 2.5. In der Analyse des Ist-Zustands kann das derzeit vorherrschende **Klima** als Grundlage dienen. Bei der weiterführenden Konzeptentwicklung sind jedoch zukünftige Klimaszenarien miteinzubeziehen. Das Gebäude soll schließlich zukunftstauglich saniert werden.

Die **Lage** und Orientierung des Baukörpers sind ebenfalls nicht veränderbar und damit in die Analyse mit einzubeziehen. Eine genaue Lageanalyse ist in Bezug zu Fremd- und Eigen-Verschattung relevant für die Einbindung erneuerbarer Energiesysteme und für den Energiebedarf des Gebäudes. In der Sanierung bietet sich die Möglichkeit, auf Grund einer eingehenden Analyse der energetischen Parameter die verschieden orientierten Fassadenflächen unterschiedlich zu gestalten bzw. verschiedene Materialien (z.B. Glasarten, transparente Wärmedämmung) zu verwenden.

Der dritte nicht veränderbare Parameter bezieht sich auf die **externe Infrastruktur**. Energieversorgung (Gas, Strom, Fernwärme bzw. Anlieferungsmöglichkeiten von biologischen Brennstoffen) ist im urbanen Bereich zumeist vorgegeben. Ist keine Fernwärme vorhanden, so können über den lokalen Energieversorger Informationen über zukünftige Ausbaustufen von Fernwärme eingeholt werden. In Wien wird die Fernwärme über Wien Energie¹⁴² bereitgestellt. Die externen Einflussparameter, die vor einer Sanierung analysiert werden sollten, sind detailliert in Abschnitt 2.5 ‚Energetische Sanierung – Einflussparameter‘ beschrieben. In diesem Abschnitt sind auch die unterschiedlichen Primärenergiefaktoren zu den jeweiligen Energieformen in Tabelle 22 zusammengefasst. Ebenso gehört die öffentliche Verkehrsanbindung zu den externen Einflussfaktoren. Hier können im Zuge einer Schulsanierung Konzepte mit E-Cars oder E-Bikes bzw. Ladestationen eingebunden werden. Zudem können Visualisierungskonzepte über z.B. Abfahrtszeiten des öffentlichen Nahverkehrs in schuleigene Applikationen für Smart-Phones integriert werden.

Als letzter Punkt der Kontext Analyse ist das **Stadtbild** anzuführen. Ästhetische und architekturelevante Faktoren prägen unsere Wahrnehmung des urbanen Raums. Jede Veränderung an einem Gebäude wirkt sich auf das umgebende Stadtbild aus. Bei der Gebäudeanalyse ist daher abzuschätzen, ob und in welcher Form eine Sanierung, die Veränderungen der Hüllflächen und des Baukörpers verursacht, das umgebende Stadtbild verändert.

¹⁴² www.wienenergie.at

BAUSTRUKTUR

Bei der Analyse des baulichen Zustands gilt es vor allem zu erfassen, welche Teilbereiche in jedem Fall sanierungsbedürftig sind, weil sie den sicherheitstechnischen Anforderungen (z.B. Brandschutz, barrierefreier Zugang) nicht mehr gerecht werden, und welche Teile durch geänderte Nutzungsbedingungen (z.B. Vergrößerung, neue Raumbedürfnisse) verändert werden sollen. Sanierungsanforderungen können sich auch aus architektonischen bzw. ästhetischen Gründen in durchaus verschieden intensiven Konzepten niederschlagen.

Generell sind bei der Analyse der Baustruktur folgende Teilaspekte im Detail zu untersuchen: Fassaden/Hüllflächen, Grundriss, Baukörper und statisches System - Siehe dazu Tabelle 20 in Abschnitt 2.4 ‚Typologie nach Baustruktur‘. Im folgenden Abschnitt 3.4 ‚Modularer Aufbau ganzheitlicher Sanierungskonzepte im Schulbau‘ bilden diese vier Teilaspekte das Grundgerüst der Methodik. In diesem Abschnitt werden diese Teilaspekte im Rahmen der Gebäudeanalyse dargestellt.

Die **Hüllflächen** umfassen die Fassaden und Dächer sowie die Bodenflächen auskragender Elemente. Das Erscheinungsbild und die Funktionalität der Außenhaut werden vor allem durch die Fassade geprägt. Typische Problemstellungen und ihre Auswirkungen in der Sanierung von Fassaden umreißt Knaack in (Knaack, imagine 06: Reimagining the envelope 2012), wie in Tabelle 26 zusammengefasst:

Sanierung von Fassaden: Typische Problemstellungen und Auswirkungen

	PROBLEM	AUSWIRKUNG
ENERGIEEFFIZIENZ	Schlechte thermische Qualität der Gebäudehülle (Dach, Wand, Verglasung)	Energieverlust, hoher Energieverbrauch
	Schlechte Luftdichtheit der Gebäudehülle	Energieverlust, hoher Energieverbrauch, schlechter Innenraumkomfort
	Thermische Brücken (Wärmebrücken)	Energieverlust, hoher Energieverbrauch, Kondensation im Innenraum
	Schlechter Wärmedämmstandard	Energieverlust, hoher Energieverbrauch, schlechter Innenraumkomfort, Risiko technischer Probleme in der Fassade
FASSADE UND FASSADENELEMENTE	Korrosion der Befestigungen der Fassade	Verfall der Fassade; Unfallrisiko
	Bewegungseinschränkung der Fassadenelemente	Verfall der Fassade; Unfallrisiko; Gesamterscheinung beeinträchtigt
	Fassadenpaneele verschoben	Unfallrisiko; Gesamterscheinung beeinträchtigt

	Lockerer oder heruntergefallener Verputz	Gesamterscheinung beeinträchtigt
	Schlechte akustische Dämmung	Schlechter Innenraumkomfort
	Schlechte Feuchtigkeitsisolierung	Unfallrisiko; Gefahr von Wasserschäden; Schlechter Innenraumkomfort
	Schlechte Anbindung an Eckpunkten (Decken, Innenwände, etc.)	Gesamterscheinung beeinträchtigt
	Schimmelpilzbefall	Schlechter Innenraumkomfort; Gesamterscheinung beeinträchtigt
	Verfall von Fassadenteilen	Unfallrisiko; Gesamterscheinung beeinträchtigt
RÄUMLICHE MÄNGEL	Keine Nutzung von Freiflächen	Gesamterscheinung beeinträchtigt; Risiko von sozialen Problemen; Ineffiziente Nutzung von Freiflächen
	Bedarf nach zusätzlichen Flächen	Existierende Flächen erfüllen nicht die geforderten Funktionen
	Nicht behindertengerecht	Unfallrisiko; Existierende Flächen erfüllen nicht die geforderten Funktionen

Tabelle 26: Sanierung von Fassaden: Typische Problemstellungen und Auswirkungen, übersetzt und adaptiert nach (Knaack, imagine 06: Reimagining the envelope 2012)

Sanierungsstrategien in Bezug auf Fassaden variieren je nach Problemstellung, Gebäudetyp und Zustand der Fassade. Generell können nach (Knaack, imagine 06: Reimagining the envelope 2012) fünf Sanierungsvarianten unterschieden werden, die in Abbildung 42 vereinfacht dargestellt und im Folgenden beschrieben werden:

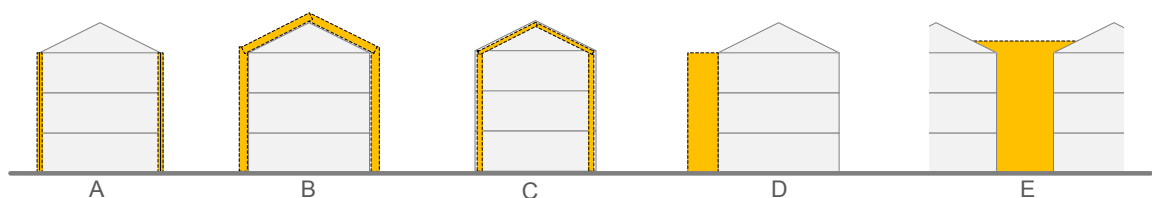


Abbildung 42: Sanierungsstrategien für Fassaden; nach (Knaack, imagine 06: Reimagining the envelope 2012)

- A. Ersatz der Fassade => Die Fassade wird komplett ausgelöst, nur die statische Konstruktion bleibt bestehen; kommt in erster Linie bei flächigen Fassadenelementen zum Einsatz; erfordert eine funktionierende statische Unterkonstruktion
- B. Umhüllung der Fassade von außen => die gesamte Fassade wird von zusätzlichen Fassadenelementen ‚umhüllt‘; standardisierte Fassadenelemente und Dämmplatten bzw. Außendämmelemente kommen zum Einsatz; Ersatz von gesamten Fassadenelementen ermöglichen einen hohen Vorfertigungsgrad und damit eine hohe Qualität der einzelnen Elemente
- C. Einhüllung der Fassade von innen => die Fassade wird von innen gedämmt; vor allem bei historischen Bauten bzw. Bauten, die dem Denkmalschutz unterliegen, stellt dies eine mögliche Variante der energetischen Sanierung dar; eine fachgerechte Auswahl des Innendämmsystems ist dabei besonders wichtig, um Bauschäden in der Wand zu vermeiden; eine umfassende Bewertungsmatrix zur Auswahl von Innendämmsystemen ist in (Wegerer 2010) zu finden.
- D. Anbringung von vorgesetzten Fassadenelementen => diese Variante eröffnet nicht nur die Möglichkeit der Fassadensanierung, sondern kann auch neue Nutzflächen schaffen; durch eine vorgesetzte Gebäudehülle können wintergartenähnliche Räume geschaffen werden und/oder Balkone und Loggien vollständig in den beheizten Raum integriert werden.
- E. Überdachung von Gebäudeelementen => Hofüberdachungen und/oder Atriumüberdachungen schaffen - ebenso wie in D beschrieben - zusätzliche Nutzflächen und machen die Außenfassade zu einer zumeist wettergeschützten Innen(hof)fassade; besonders bei Schulbauten können so wichtige Freiflächen winterfest und damit über längeren Zeitraum nutzbar gemacht werden.

Bei denkmalgeschützten Gebäuden bzw. Gebäuden, deren Fassade aus architekturhistorischen Gründen erhaltenswert ist, muss die Sanierungsstrategie entsprechend angepasst werden. Lorbek beschreibt dazu in (Lorbek und Stosch, Architekturhistorisch differenzierte, energetische Sanierung 2003) die Entwicklung einer Methode zu einer ‚verfeinerten‘ Sanierung für Gebäude der frühen 60er Jahre. Dabei wurde versucht, erhaltenswerte Gebäudeteile und deren Formensprache (z.B. schlanke Fensterprofile) mit dem Anspruch an höchste Energieeffizienz zu verknüpfen und damit Sanierungsmodelle zu entwickeln, die in adaptierter Form für Gebäude gleichen Baualters verwendet werden können.

Die Analyse der **Grundrisse** bildet den zweiten wesentlichen Schritt. Wie in 2.4 ‚Typologie nach Baustruktur‘ ausgeführt gilt es in Abhängigkeit von der Grundrissart (siehe auch Abbildung 30 und Abbildung 31) Adaptierungen zu entwickeln. Eine Veränderung der Grundrisse ist vor allem basierend auf den Zielen und in enger Abstimmung mit den jeweiligen Stakeholdern (Pädagogen, Schüler, etc.) zu entwickeln. Für eine energetische Optimierung sind die Grundrisse hinsichtlich der Möglichkeiten des ‚Clusterings‘ von zusammenhängenden Bereichen zu analysieren.

Der **Baukörper** sollte aus energetischer Perspektive vor allem hinsichtlich Optimierung des Verhältnisses Oberfläche zu Volumen (A/V-Faktor, siehe auch 2.5 ‚Architektonische Parameter‘ analysiert werden. In Abhängigkeit vom Gebäudetyp (Korridortyp, Hallentyp, Pavillontyp) können zusätzliche Flächen durch Überdachungen von Innenhöfen gewonnen werden.

Eine eingehende Analyse des **statischen Systems** ist sowohl für die Neugestaltung der Grundrisse relevant (z.B. Zusammenlegung/Teilung von Räumen; Deckendurchbrüche für Atrien zur Schaffung neuer Erschließungsbereiche oder Nutzungszonen) als auch für die Erstellung des Energiekonzepts (z.B. Thermische Masse, Durchbrüche für Lüftungssysteme). Die einzelnen Maßnahmen werden im folgenden Abschnitt 3.4 detailliert dargestellt. Abhängig von der Bauperiode wurde in der Regel die Massivbauweise (z.B. Gründerzeit) oder die Skelettbauweise (z.B. Plattenbauten der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts) angewendet. Haselsteiner et al beschreibt in (Haselsteiner, et al. 2010) Sanierungsvarianten für die statischen Systeme der in dem Handbuch definierten Bauperioden - siehe Tabelle 27.

Sanierung des statischen Systems nach Typologie

TYPOLOGIE / BAUALTER	DECKEN	ENTKERNUNG
Gründerzeit 1848 - 1917	Überprüfung der Tram- und Tramtraversendecken; Nachträglich angebrachte Verbunddecken schaffen eine horizontale Versteifung und verringerte Schwingungen	Bei tragenden Längswänden sind aufwändige Unterfangungen notwendig; ebenso ggf. bei Abbruch von nicht tragenden Querwänden
Wiederaufbau 1945 - 1961	Deckenverstärkungen sind im Rahmen einer Begutachtung zu prüfen; geringe Geschoßanzahl wirkt sich positiv aus	Unterfangungen bei Durchbrüchen und ggf. bei Abbruch von nicht tragenden Querwänden
Späte Nachkriegsmoderne 1962 - 1970	Deckenverstärkungen sind im Rahmen einer Begutachtung zu prüfen	Nicht tragende Stahlbeton-Fertigteilwände können ohne kompensatorische Maßnahmen entfernt werden; ggf. Queraussteifung der Längswände
70er Jahre 1971 - 1980	Deckentragfähigkeit ist in der Regel gegeben	Unterfangungen bei Durchbrüchen und ggf. bei Abbruch von nicht tragenden Querwänden

Tabelle 27: Sanierung des statischen Systems nach Typologie / Baualter nach (Haselsteiner, et al. 2010)

Eine Sanierung bis hin zur Erdbebenertüchtigung ist gesondert zu betrachten und kann zusätzliche Maßnahmen wie z.B. Verstärkung von Decken oder statische Aussteifungen erfordern. Generell sollte die Analyse des statischen Systems eine eingehende Überprüfung des Ist-Zustands des Gebäudes vor Ort beinhalten.

ENERGIERELEVANTE PARAMETER

Zusätzlich zur baulichen Analyse müssen energierelevante Aspekte untersucht werden, um ein ganzheitliches Bild des Ist-Zustands des zu sanierenden Gebäudes zu erhalten.

Die **Belegung und spezifischen Anforderungen** an Raumnutzungen (Zonierungen, Nutzungsarten, Nutzungszeiten) bilden eine wesentliche Grundlage der Analyse. Die Belegung der einzelnen Räume - vor allem auch bedingt durch die sehr unterschiedliche zeitliche Nutzung - kann wesentlich den Energiebedarf eines Schulgebäudes beeinflussen. Ziel ist es, thermische Zonierungen so zu gestalten, dass eine einheitliche und effiziente Temperierung ermöglicht werden kann. Durch eine Sanierung ist auch die Implementierung von Regelungstechniksystemen möglich, die eine effiziente Steuerung in Abhängigkeit von der Zeit und Art der Belegung vorsehen kann - siehe dazu auch Abschnitt 2.6 ‚Regelungstechnik und Monitoring‘.

Eine eingehende Analyse der **haustechnischen Systeme sowie der Energieversorgung** bilden eine weitere wesentliche Grundlage zur Erstellung eines ganzheitlichen und energetisch optimierten Sanierungskonzepts. Dazu werden die Wärmeversorgung und Warmwasserversorgung (Wärmeverteilung, Zonierungen, Nachtabsenkungen, Temperatur-Sollwerte), Stromversorgung, Beleuchtung, Lüftungssysteme sowie die gesamte Regelungstechnik (sofern vorhanden) erfasst. Zusätzlich zu Planunterlagen ist für eine eingehende Analyse eine Begehung unumgänglich. Über die Jahre durchgeführte Änderungen an den haustechnischen Systemen sind nicht immer vollständig dokumentiert. Die Rolle des ‚Facility Managers‘ der Schule fällt in der Regel dem Schulwart zu, der jedenfalls bei einer Sanierung hinzugezogen werden muss, da er möglicherweise aufschlussreiche Details über durchgeführte Adaptierungen geben kann.

Die **Energiekennzahlen** können im Idealfall aus den Aufzeichnungen eines Gebäudemanagementsystems (BAS, Building Automation System) entnommen werden. Nachdem diese Systeme jedoch noch nicht weit verbreitet und vor allem nicht in älteren Gebäuden installiert sind, werden die relevanten Daten aus den Rechnungen der Energieversorger oder Ablesungen abgeleitet werden müssen. Diese Daten sind von der Schulverwaltung und den Schulwarten (die in manchen Schulen zusätzliche Aufzeichnungen führen) zu bekommen. Wichtig ist dabei, die Daten mehrerer Jahre - möglichst aufgeschlüsselt nach Monatswerten - zu analysieren, um langjährige Mittelwerte errechnen zu können.

Vergleichswerte sind in Tabelle 28 nach (Haselsteiner, et al. 2010) zusammengefasst.

Vergleichswerte Heizwärmebedarf nach Typologie / Baualter

TYPOLOGIE / BAUALTER	HEIZWÄRMEBEDARF (HWB)	KATEGORIE lt. Energieausweis
Gründerzeit 1848 - 1917	120 kWh/(m ² a)	Kategorie D
Wiederaufbau 1945 - 1961	206 kWh/(m ² a)	Kategorie F
Späte Nachkriegsmoderne 1962 - 1970	141 kWh/(m ² a)	Kategorie D
70er Jahre 1971 - 1980	100 kWh/(m ² /a)	Kategorie D

Tabelle 28: Vergleichswerte Heizwärmebedarf nach Typologie / Baualter nach (Haselsteiner, Lorbek, et al., Handbuch Baustelle Schule, Ein Leitfaden zur ökologisch nachhaltigen Sanierung von Schulen 2010)

3.2. Zielbild

Das Zielbild stellt eine wichtige Grundlage für die Entwicklung eines für das Bauprojekt adäquaten Konzepts dar. Ein gemeinsames Zielbild seitens der Nutzer (Pädagogen, Schüler), der Auftraggeber (Schulbehörde, Magistrat) und der in den Bauprozess involvierten Akteure (Planer, Baufirmen) dient dazu, im Vorfeld die Anforderungen und Rahmenbedingungen zu beschreiben und abzugleichen.

Die Sanierung im Schulbau ist jedenfalls nicht ‚nur‘ ein Bauprojekt. Das Einbeziehen der Vorstellungen der Stakeholder leistet einen wesentlichen Beitrag zur Akzeptanz des Sanierungsprozesses und des sanierten Gebäudes. Die Wirkung von Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz wird im Betrieb des Gebäudes maßgeblich von den Nutzern beeinflusst. Eine gute Kommunikation, *warum* welche Maßnahmen gewählt wurden, ist dabei unerlässlich, um die Effizienz des Gebäudes im Betrieb zu gewährleisten. Verstehen die Nutzer die Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen im Gebäude, können sie ihr Nutzerverhalten entsprechend anpassen. Wünsche seitens der Pädagogen und Schüler sind jedenfalls bei der Raumgestaltung zu berücksichtigen. Spiel beschreibt in ihrer Analyse in (Spiel, Schabmann, et al. 2010) die Forderungen der Lehrer bezüglich alternativer Konzepte der Schulraumgestaltung (siehe Abbildung 27 in 2.3/Räumliche und organisatorische Anforderungen). Auch in den im Rahmen des Projekts SchulRen+ durchgeführten Expertenworkshops wurde die Wichtigkeit der Einbindung der Stakeholder in den gesamten Planungsprozess mehrmals hervorgehoben (Dubisch, et al. 2012).

Ein Workshop gemeinsam mit den beteiligten Stakeholdern ist ein erster wichtiger Schritt, um eine gemeinsame Basis für den Prozess des Sanierungsvorhabens zu schaffen. Eine Prioritätenmatrix kann dabei eine wirksame Maßnahme darstellen, um die Bilder (Wünsche, Anforderungen) aller Beteiligten abzuholen und abzugleichen. Bei einer Verknüpfung von energieoptimierten Szenarien mit neuen Raumanforderungen ist ein Ausloten der Schwerpunkte besonders hilfreich, da noch nicht genügend vergleichbare Projekte zur Verfügung stehen.

Die Themen in der Prioritätenmatrix sollen dabei sowohl energetisch/ökologische als auch architektonisch/räumliche Kriterien abdecken. Sie können auf spezifische Bauvorhaben adaptiert werden. In Tabelle 29 sind beispielhaft relevante Themenblöcke, die in einer Prioritätenmatrix abgefragt werden können, zusammengefasst. Die Themen umfassen Maßnahmen im Bereich Energie, Architektur, Raumnutzung und Materialien und können in Abhängigkeit vom Projekt angepasst werden. In der Matrix (Abbildung 43) kann jeder Stakeholder auf einer Skala von 1 bis 10 (1 = sehr niedrige Priorität; 10 = sehr hohe Priorität) seine Priorität für die unterschiedlichen Themen angeben. Die Einschätzung ist subjektiv. Erst ein Vergleich mit den anderen involvierten Stakeholdern ermöglicht die Entwicklung eines objektivierte Gesamtbilds für das Schulsanierungsprojekt. Eine diesbezügliche Einschätzung der eigenen Werte ersetzt nicht den Diskurs über ein für die Schule passendes Raumprogramm unter gegebenen Rahmenbedingungen. Ziel ist es vielmehr, den Dialog zwischen den Stakeholdern zu initiieren und ein gemeinsames Zielbild zu entwickeln.

Thematische Maßnahmen in der Prioritätenmatrix

	THEMA	AUSWIRKUNG AUF DAS SANIERUNGSKONZEPT (bei hoher Priorität)
Energie	I Reduktion CO ₂ Emissionen	Maßnahmen zur Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs sind erwünscht; hohe Akzeptanz der dadurch implizierten Veränderungen
	II Energieeffizienz	Energieeffizienzmaßnahmen sollen durchgeführt werden; Akzeptanz und Mitarbeit bei der Umsetzung im Betrieb ist gewährleistet
	III Erneuerbare Energien	Einbindung von erneuerbaren Energien soll angestrebt werden; Akzeptanz für ästhetische Veränderungen durch die Einbindung ist vorhanden
Architektur	IV Veränderung der Architektur	Bauliche Veränderungen bzw. Adaptierungen und Modernisierungen sind erwünscht; das Gesamterscheinungsbild der Schule soll verändert werden
	V Pädagogisch-räumliche Innovationen	Architektur und Innenarchitektur können maßgeblich adaptiert werden; Raumkonzepte können an eine zeitgemäße Architektur angepasst werden
	VI Räumliche Veränderungen	Substantielle Veränderungen in der Raumabfolge und Raumlogistik sind erwünscht
Raumnutzung	VII Offene Klassenräume	Offene Lernsituationen sind erwünscht; dadurch entstehende Veränderungen (z.B. Raumlogistik) werden angenommen
	VIII Differenzierte Lernsituationen	Unterschiedliche Lernsituationen sind explizit gefordert; das ‚klassische‘ Klassenzimmer ist nicht die einzige Möglichkeit des Unterrichts- bzw. Lernraums
	IX Flexibilität der Nutzung	Die Nutzungsprofile sollen verändert werden; Räume sollen für unterschiedliche Nutzungsarten zur Verfügung stehen
Materialien	X Ressourcenschonende Bauweise	Ressourcenschonende Bauweise ist gewünscht; lokale und nachhaltige Materialien sollen zur Anwendung kommen
	XI Nachhaltige Baustoffe	Einbindung von nachhaltigen Baustoffen soll angestrebt werden; Akzeptanz für ästhetische Veränderungen ist vorhanden
	XII Grünräume / Freiflächen	Freibereiche sollen für den Unterricht genutzt werden können; eine Verknüpfung von innen und außen ist erwünscht

Tabelle 29: Thematische Maßnahmen in der Prioritätenmatrix

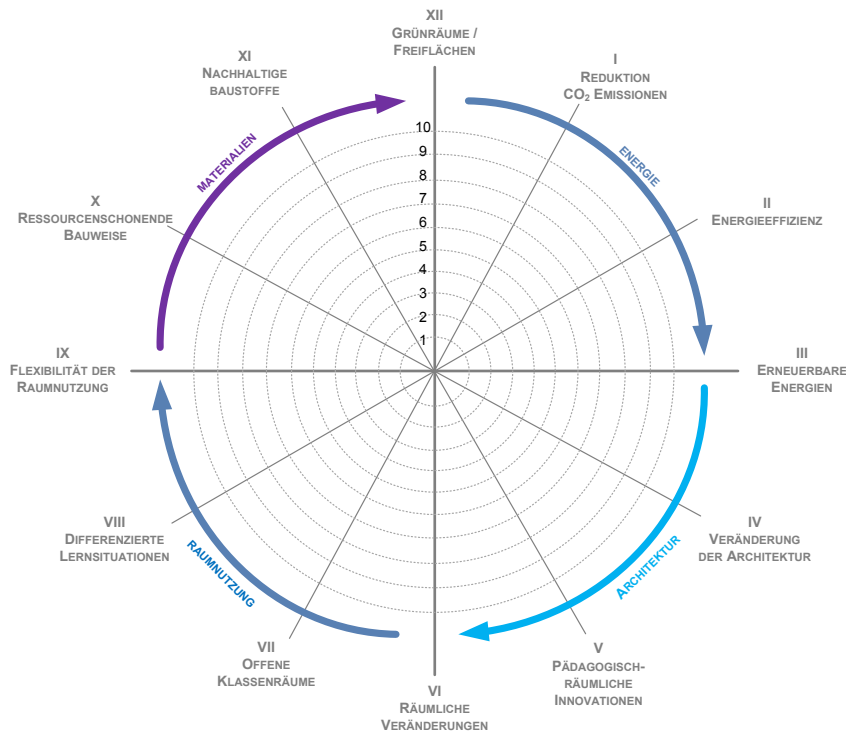


Abbildung 43: Beispiel einer Prioritätenmatrix im Konzeptentwicklungsprozess für eine Schulsanierung

Das graphische Ergebnis dieser Übung zeigt die Schwerpunktsetzung der in den Prozess involvierten Personen. In Abbildung 44 sind beispielhaft zwei unterschiedliche Ergebnisse dargestellt. Während im Beispiel links der Stakeholder seinen Schwerpunkt auf Ressourcen und Materialnutzung setzt, ist aus dem rechten Bild ersichtlich, dass hier Raumnutzung, innovative Architektur und neue Raumkonzepte im Vordergrund stehen.

Mit diesem Werkzeug lassen sich unterschiedliche Bilder abgleichen, mit dem Ziel eine von allen Stakeholdern approbierte Vision als Zielbild zu definieren, welches das Sanierungsvorhaben im gesamten Prozess begleitet.

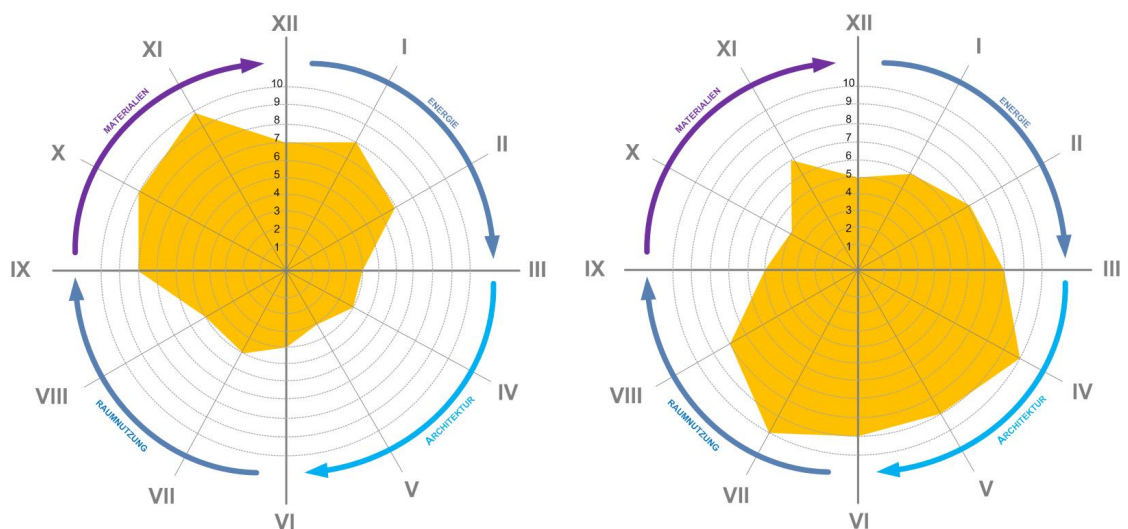


Abbildung 44: Beispiele einer ausgefüllten Prioritätenmatrix im Konzeptentwicklungsprozess

In der Entwicklung des Zielbilds müssen auch relevante bauliche und regulative Rahmenbedingungen mitgedacht werden.

Unter den zahlreichen Regulativen (siehe 2.2 Politische und institutionelle Rahmenbedingungen/Regulative) sind vor allem auch ästhetische und bauliche Vorgaben seitens Denkmal- oder Ensembleschutz¹⁴³ zu beachten. Das Bundesdenkmalamt hat mit der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal (Bundesdenkmalamt Hofburg, Abteilung für Architektur und Bautechnik 2011) detaillierte Vorgaben zusammengestellt, welche Maßnahmen bei denkmalgeschützten Gebäuden umgesetzt werden dürfen. In der Schulsanierung können darüber hinaus die zeitlichen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle spielen: Wenn kein Ausweichquartier zur Verfügung gestellt werden kann, muss der gesamte Bauprozess innerhalb der (Sommer)Ferien abgewickelt werden. Das kann bei einem substantiellen Umbau eine logistische Herausforderung darstellen.

Im baulichen Kontext ist die Intensität der Sanierung demnach nicht nur im Sinne des Denkmalschutzes von großer Bedeutung. Eine Sanierung geht immer auch mit einer architektonischen Veränderung einher. Die Intensität des ‚Eingriffs‘ in ein bestehendes Gebäude und damit auch in gewisser Weise in ein gewachsenes und allen Nutzern bekanntes System sollte ebenso Teil des Zielbilds sein. Ein Gebäude kann zum einen sanft adaptiert werden. Die Benutzer werden in diesem Fall nach der Sanierung ein optimiertes, aber in den Grundzügen unverändertes Haus vorfinden. Das Gebäude kann aber ebenso bis auf das Grundgerüst modernisiert werden und damit im Erscheinungsbild wie ein neues Gebäude auf die Nutzer wirken. Wichtig ist, die Intensität der Sanierung jedenfalls mit den Stakeholdern zu diskutieren.

In (Knaack, imagine 07: Reimagining housing 2012) werden dabei exemplarisch fünf grundsätzliche Herangehensweisen an Sanierungsvarianten unterschieden, die mehr oder weniger fließend ineinander übergehen:

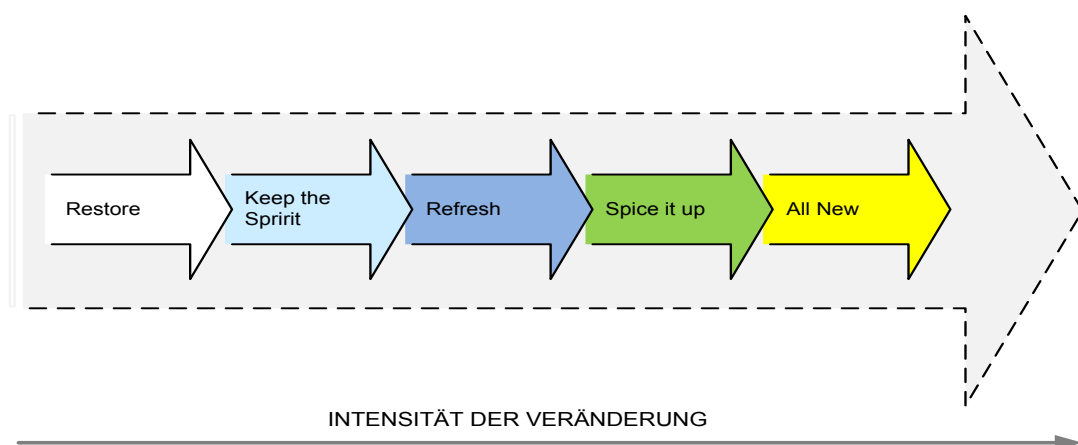


Abbildung 45: Intensität der Interaktion in der Sanierung, nach (Knaack, imagine 07: Reimagining housing 2012)

¹⁴³ In Österreich ist das Bundesdenkmalamt für den Denkmal- und Ensembleschutz verantwortlich; es hält u.a. eine Liste aller unbeweglichen unter Denkmalschutz stehenden Gebäude aufgelistet nach Bundesländern; www.bda.at / Zugriff 04.02.2015

Restore => gleichbleibende Funktion und Stil; Ersatz von beschädigten Teilen in demselben Stil und/oder der gleichen Technologie; keine sichtbare Veränderung, weitestgehend Erhaltung des ursprünglichen Baus

Keep the Spirit => gleichbleibender Stil; Ersatz von beschädigten Teilen in demselben Stil, aber mit zeitgemäßen Technologien; wenig sichtbare Veränderung, weitestgehende ‚Erhaltung‘ des ursprünglichen Baus

Refresh => Ersatz mit zeitgemäßen Technologien; neue Komponenten, die mit der Substanz interagieren; neue Gebäudevolumina, Änderungen des Layouts und der Funktionen

Spice it up => Aggressivere Intervention; drastische Veränderung des Layouts und der Funktionen; Veränderung des Erscheinungsbildes; visuelle und funktionale Erneuerung des gesamten Gebäudes

All new => Teile die aus technischer, finanzieller und/oder rechtlicher Sicht erhalten bleiben müssen, bleiben unverändert; der Rest des Gebäudes wird komplett erneuert; Komplette visuelle und funktionale Erneuerung des Gebäudes (nach (Knaack, imagine 07: Reimagining housing 2012))

Unabhängig von der Art des Zielbilds ist es wichtig, dass es ein gemeinsames und von allen relevanten Stakeholdern mitentwickeltes Zielbild für die Schulsanierung gibt. Dieses liefert in weiterer Folge eine wertvolle Grundlage für die Konzeptentwicklung und Planung des Sanierungsprozesses. Das Zielbild sollte im gesamten Prozess ergebnisorientiert verfolgt werden, um sicherzustellen, dass die ursprünglich vereinbarten Ziele auch zur Umsetzung gelangen.

3.3. Erstellung von Energiekonzepten

Im Folgenden wird eine prinzipielle Methodik beschrieben und diskutiert, die bei der Erstellung von Energiekonzepten angewendet werden kann. Die Vorgehensweise ist sowohl auf den Neubau als auch auf Sanierungen anwendbar und gliedert sich in drei grundsätzliche Schritte, die im Folgenden im Detail beschrieben werden: **Methodik Schritt 1 Passiv**, **Methodik Schritt 2 Gebäudetechnik** und **Methodik Schritt 3 Erneuerbare Energien**. Daraus abgeleitet wird in Abschnitt 3.4 die Methodik auf die Entwicklung ganzheitlicher Sanierungskonzepte und auf die Wechselwirkungen mit den neuen Raumanforderungen im Schulbau erweitert.

Energetische Sanierung und die Planung eines energieeffizienten Neubaus folgen in den Grundzügen dem gleichen Ziel: den Einsatz fossiler Energieträger zu minimieren oder ganz zu vermeiden bzw. darüber hinaus erneuerbare Energie mit dem Gebäude zu nutzen und Lastverschiebungen über die Gebäudegrenze hinaus zu ermöglichen. Letzteres gewinnt im Hinblick auf die Entwicklung von *building to grid*- und *smart city*- Konzepten zunehmend an Bedeutung. *Building to grid* bedeutet in diesem Kontext die aktive Einbindung eines Gebäudes in ein elektrisches und/oder thermisches Netz und die regelungstechnische Verbindung und damit Kommunikation des Netzes mit dem Gebäude. Damit kann vom Gebäude produzierte Energie zur richtigen Zeit (d.h. bei erhöhtem Strom- oder Wärmebedarf) in das Netz verschoben werden, oder andererseits Energie vom Netz in das Gebäude verschoben werden, um einer Netzüberlastung vorzubeugen. Der Begriff *smart city* geht über den unmittelbaren Kontext Gebäude/Netz hinaus und betrachtet die Wechselwirkungen im gesamten Stadtbereich und lässt sich damit wie folgt umreißen: *“...The overall concept of Smart Cities considers the city as a whole in all its complexity (holistic approach), focuses on energy (demand, supply, distribution, storage) and resulting carbon emissions and considers interactions between energy and mobility, water, waste, the quality of life of its citizens and socio-economic conditions within the city. Smart Cities thus stand for a change in paradigms in the sectorial innovations along with the transformation of the energy innovation system with a focus on smart energy infrastructure, a change from single technology to multi technology approach, an integrated planning approach as well as cooperative processes and the integration of all relevant stakeholders. Smart Cities thus provide a challenge as well as a chance...”* (Österreicher 2013). Gebäude werden dabei generell im Kontext ihres (urbanen) Umfelds betrachtet mit dem Ziel, nicht (nur) ein Optimum für einzelne Gebäude zu schaffen, sondern für Stadtteile und Städte zu optimieren. Durch eine Sanierung, die diese Aspekte mit in Betracht zieht, können demnach langfristig haltbare und damit nachhaltige Maßnahmen getroffen werden, die weit über die Substanzerhaltung hinausgehen.

Um eine umfassende Betrachtung eines Sanierungsvorhabens schon im Planungsprozess zu gewährleisten, sollen zusätzlich zu den konventionellen Kriterien (technische, architektonische, ökonomische) auch Kriterien der Nachhaltigkeit (soziale, gesundheitliche, umweltfreundliche) miteinbezogen werden (AEA 2005). Ziel ist eine ganzheitliche Betrachtung, die es ermöglicht, alle relevanten Aspekte in die Konzepterstellung und in die weitere Planung miteinzubinden.

Die Methodik bzw. die einzelnen Schritte zur Erstellung von energetisch optimierten Konzepten sind im Neubau wie in der Sanierung gleich, wenn auch mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung. Die Rahmenbedingungen sind in der Sanierung zumeist enger gesteckt als bei einem Neubau. So sind z.B. Lage, Orientierung und Kubatur oft nicht veränderbar bzw. nur adaptierbar, während die Planung eines neuen Gebäudes mehr Freiheiten zulässt. Umso mehr ist es hilfreich, einer klaren Methodik zu folgen, um die bestmögliche Lösung für ein Projekt zu entwickeln.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte skizziert und die wesentlichen Parameter, die bei der Entwicklung eines energetisch optimierten Energiekonzepts zu beachten sind, hervorgehoben. Die Methodik baut dabei auf drei wesentlichen Maßnahmengruppen bzw. Entwicklungsschritten auf, die in Abbildung 46 zusammengefasst sind.

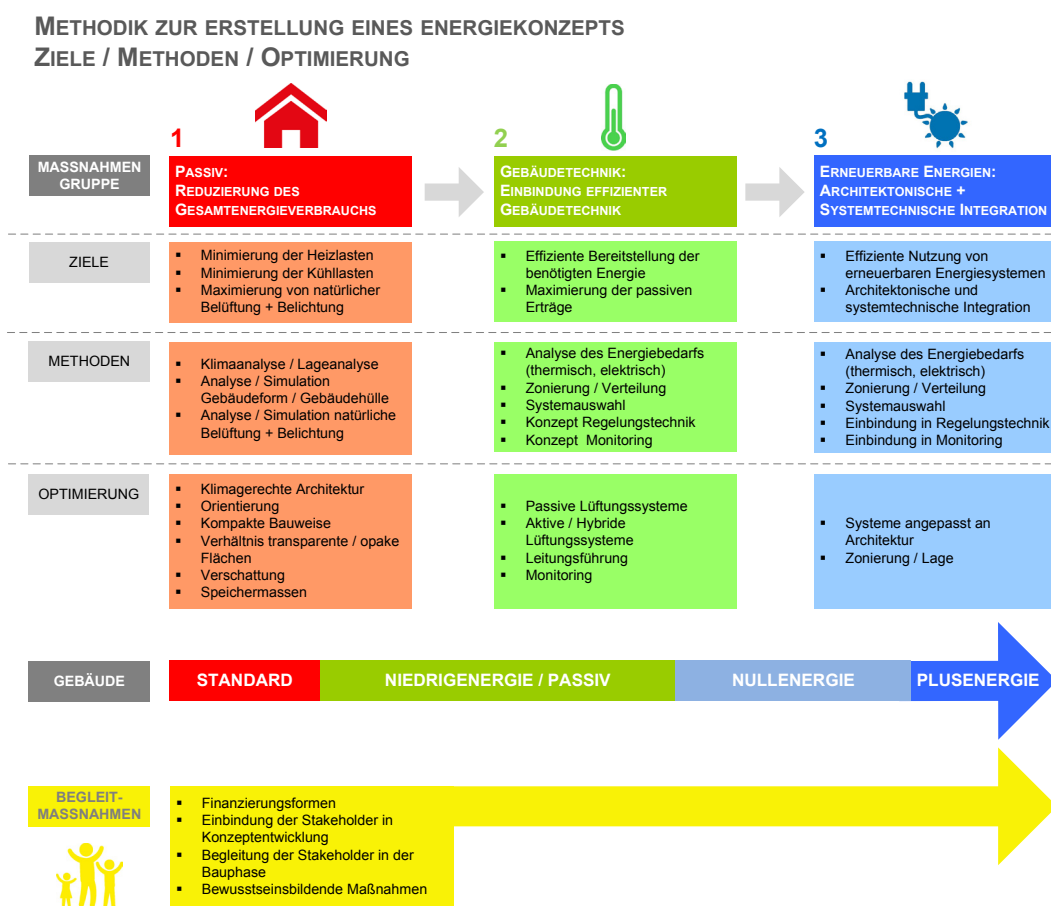


Abbildung 46: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzepts¹⁴⁴

Die Entwicklung geht dabei immer von der Betrachtung eines Standard Gebäudes aus, das den aktuellen Normen und Vorschriften entspricht. Durch eine Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs kann das Gebäude Richtung Niedrig-, Passiv- bzw. Nullenergiehaus-Standard weiterentwickelt werden. Durch die Einbindung von

¹⁴⁴ Adaptiert aus Vorlesung ‚Ecotecture, Zukunftsorientiertes Planen und Bauen‘, Methodische Ansätze für die Erstellung von Energiekonzepten, Österreicher, 2011

erneuerbaren Energietechnologien und damit durch die Gewinnung von Energie am Standort wird das Objekt zu einem Plusenergie Gebäude (siehe dazu auch Ausführungen in Abschnitt 2.4 ‚Typologie nach Energierlevanten Parametern: Niedrig-, Passiv- und Plusenergie Gebäude‘ und Abbildung 33). Die Begleitmaßnahmen unterstützen mit nicht-technischen Maßnahmen den gesamten Prozess.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte im Detail hinsichtlich Ziele, Methoden und Optimierung beschrieben.

METHODIK SCHRITT 1 PASSIV

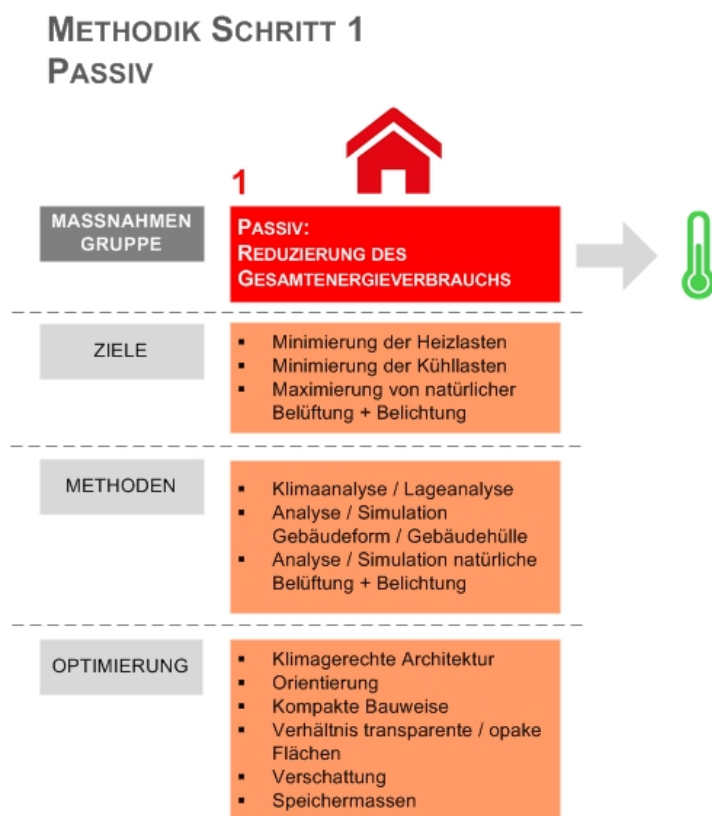


Abbildung 47: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzeptes: Schritt 1 Passiv¹⁴⁵

Als **passive Maßnahmen** werden in diesem Kontext jene Maßnahmen bezeichnet, die ohne mechanische Antriebe gezielt zur Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs beitragen. Passive Systeme, die ausschließlich Hilfsenergie benötigen (z.B. Pumpen für Erdkanäle) sind auch den passiven Maßnahmen zuzuordnen. Demzufolge sind damit vor allem bauliche Maßnahmen gemeint, die einerseits zusätzlich zu ihrem strukturellen, räumlichen oder architektonischen Nutzen auch eine energetische Relevanz besitzen.

¹⁴⁵ Aus Vorlesung ‚Ecotecture, Zukunftsorientiertes Planen und Bauen‘, Methodische Ansätze für die Erstellung von Energiekonzepten, Österreicher, 2011

In Abbildung 47 sind die Ziele, Methoden und Optimierungsvarianten zusammengefasst dargestellt.

Ziele

Ziele der passiven Maßnahmen sind die Minimierung der Heizlasten, Minimierung der Kühllasten und eine Maximierung der natürlichen Belüftung und Belichtung. Einflussparameter sind dabei Klima, Lage, Gebäudeform, Gebäudehülle und Materialien.

Methoden

Als Methoden kommen die Klima- und Lageanalyse zur Anwendung. Analysiert werden sollen dabei mindestens die in Tabelle 21 unter ‚Klima‘ genannten Parameter. Die Lageanalyse muss eine eingehende Analyse der umliegenden Gebäudekomplexe beinhalten. Dabei sollte vor allem auf Fremd-Verschattung der umliegenden Gebäude im Jahresverlauf geachtet werden. Im Hinblick auf den Einsatz von Photovoltaik- und Solarelementen in der Gebäudehülle ist eine eingehende Analyse der Verschattung der potentiellen Einstrahlungsflächen notwendig.

Die Analyse und energetische Optimierung von Gebäudeform bzw. Kompaktheit des Gebäudes können mit thermisch-dynamischen Simulationswerkzeugen durchgeführt werden. Wetterdatensätze, die zur Berechnung von Innenraumtemperaturen herangezogen werden, sollten dabei nicht nur statistische Mittel, sondern auch Daten von extremen Wettersätzen enthalten. Eine detaillierte Analyse der Wirksamkeit der natürlichen Belüftung kann über die thermisch-dynamische Simulation hinausgehend mittels Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics, CFD) berechnet werden. Tageslichtsimulationen und Verschattungssimulationen können zusätzliche Informationen zu spezifischen Fragestellungen liefern und sind hilfreiche Werkzeuge in der Entwicklung von passiven Konzepten. Spezifische Simulationsprogramme in diesem Bereich sind z.B. Ecotect¹⁴⁶ oder Radiance¹⁴⁷.

Optimierung

In einem ersten Schritt wird die Minimierung der Heizlasten durch kompakte Bauweise, eine effiziente Gebäudehülle und die Minimierung der Lüftungswärmeverluste angestrebt. Durch passive Heizsysteme¹⁴⁸, die Nutzung von Speichermassen sowie bauliche Maßnahmen wie Solarwände, Atrien, Glashäuser oder Erdkanäle kann zusätzlich eine Maximierung der gewünschten solaren Erträge erzielt werden. In Schulgebäuden, in denen alleine durch die Belegungsdichte relativ hohe Innenwärmen zu erwarten sind, müssen die gewünschten solaren Erträge vor allem auch in Hinblick auf mögliche sommerliche Überwärmung abgewogen werden.

Eine Minimierung der Kühllasten ist ein weiteres Ziel. Es sollten Maßnahmen gesetzt werden, die ausschließlich passives Kühlen ermöglichen. Nachdem eine aktive Kühlung

¹⁴⁶ <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/> Zugriff 06.02.2015

¹⁴⁷ <http://radsite.lbl.gov/radiance/> Zugriff 06.02.2015

¹⁴⁸ Bauliche Vorkehrungen, die ohne mechanische Antriebe gezielt zur Beheizung des Gebäudes beitragen

vermieden werden soll, muss vor allem auch auf die sommerliche Überwärmung geachtet werden: eine gut gedämmte und dichte Gebäudehülle kann in einer gemäßigten Klimazone - ohne entsprechende Maßnahmen hinsichtlich Belüftung und Kühlung – unweigerlich hohe Innenraumtemperaturen zur Folge haben. Eine Minimierung der Kühllasten kann einerseits durch passive Kühlsysteme¹⁴⁹ erfolgen und andererseits durch bauliche Maßnahmen wie guter sommerlicher Wärmeschutz, natürliche Belüftung, Beschattung, Maßnahmen zur Verbesserung des Mikroklimas und Vorkühlung der Außenluft (z.B. durch Erdkanäle¹⁵⁰).

Als natürliche Lüftung bezeichnet man den Luftaustausch in Gebäuden durch den sich einstellenden natürlichen Auftrieb von unterschiedlich warmer Luft (Kamineffekt). Der Auftrieb (Druckunterschied) errechnet sich grundsätzlich aus dem sich aus dem Temperaturunterschied ergebenden Dichteunterschied sowie der zur Verfügung stehenden Auftriebshöhe. Im autochtonen bzw. klimagerechten Bauen gibt es zahlreiche Beispiele der natürlichen Belüftung (z.B. unterirdische Labyrinths oder Wind Catchers). Zunehmend wird die natürliche Belüftung auch im großvolumigen Bauen statt energieintensiver Klimageräte eingesetzt.

Die Maximierung der natürlichen Belüftung soll dabei durch passive Belüftungssysteme¹⁵¹ wie z.B. Nachtlüftung, Querlüftung, ‚Wind Catchers‘ oder Erdkanäle erzielt werden. Die einfachste Art der natürlichen Belüftung erfolgt durch Gebäudeöffnungen (öffnbare Elemente) in der Gebäudehülle. Die Wirksamkeit der natürlichen Belüftung wird dabei von Windrichtung, Windstärke, Temperaturdifferenz innen/außen, Neigung der Öffnung, Fläche der Öffnung, Ein-, Zwei-, Mehrseitige Belüftung und Anordnung der Öffnungen (bei mehrseitiger Belüftung) beeinflusst.

Andere passive Systeme nutzen die Speichermasse (Beton im Labyrinth oder Erdreich bei Erdkanälen) zur Vorkühlung bzw. Vorwärmung der Außenluft. Zur Berechnung von komplexeren Systemen werden – wie bei der Auslegung von mechanischen Systemen – thermisch dynamische Simulationstools und auch CFD¹⁵²-Simulation verwendet. Vor allem in Schulgebäuden ist, bedingt durch die relativ hohe Belegungsdichte, hohe Aufmerksamkeit auf die Lüftung der Klassenräume zu legen. Auf passende Lüftungskonzepte wurde bereits gesondert in Abschnitt 2.6 ‚Lüftungssysteme‘ eingegangen.

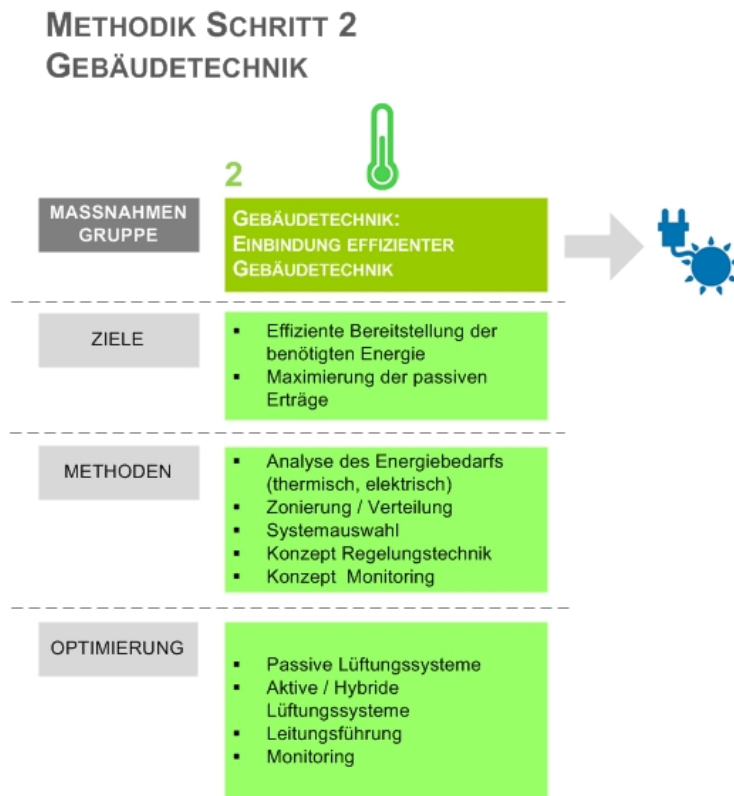
Eine Maximierung der natürlichen Belichtung bedingt eine gute Tageslichtqualität im Innenraum (z.B. Blendfreiheit). Dies kann durch die adäquate Auslegung von transparenten Flächen, Linklenksystemen und Reflexionsflächen im Innenraum erzielt werden. Anforderung an die natürliche Belichtung in Schulgebäuden sind in Abschnitt 2.3 ‚Licht‘ und Tabelle 16 zusammengefasst.

¹⁴⁹ Bauliche Vorkehrungen, die ohne mechanische Antriebe gezielt zur Kühlung des Gebäudes beitragen

¹⁵⁰ Rohrleitungen aus Kunststoff oder Beton, die unter der Frostgrenze in der Erde über längere Distanzen verlegt die Außenluft vorwärmen bzw. vorkühlen

¹⁵¹ Bauliche Vorkehrungen, die ohne mechanische Antriebe gezielt zur Belüftung des Gebäudes beitragen

¹⁵² Computational Fluid Dynamics

Abbildung 48: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzeptes: Schritt 2 Gebäudetechnik¹⁵³

Als Maßnahmen im Bereich der **Gebäudetechnik** werden in diesem Kontext jene Maßnahmen bezeichnet, die durch systemtechnische Komponenten den effizienten Betrieb eines Gebäudes gewährleisten. Die Systeme der Gebäudetechnik sind damit für die Energieaufbringung, Energieverteilung und Regelung verantwortlich und unterstützen bzw. regulieren teilweise die passiven Systeme.

Ziele, Methodik und Optimierungsmaßnahmen sind in Abbildung 48 zusammengefasst dargestellt.

Ziele

Nachdem im ersten Schritt die passiven Maßnahmen ausgeschöpft werden, wird im zweiten Schritt der Energiebedarf auf möglichst effiziente Art und Weise bereitgestellt und gleichzeitig die passiven Erträge maximiert. Die Effizienz wird dabei von der Auswahl der Energiebereitstellungs- und Verteilsysteme bzw. der Kombination der Systeme, der Leitungsführung sowie der Regelungstechnik bzw. des Building Management Systems (BMS) beeinflusst. Die Anwendung passiver Heiz-, Kühl- und Lüftungssysteme (wie z.B.

¹⁵³ Aus Vorlesung ‚Ecotecture, Zukunftsorientiertes Planen und Bauen‘, Methodische Ansätze für die Erstellung von Energiekonzepten, Österreicher, 2011

Erdsonden, Erdkanäle, Labyrinth) wie in Schritt 1 beschrieben ist dabei jedenfalls zu berücksichtigen.

Methoden

Im Sanierungsfall wird der Ist-Zustand in erster Linie mit Messdaten erfasst, sofern diese ausreichend vorhanden sind. Messdaten sollen idealerweise über mehrere Jahre vorliegen, zeitlich abgestuft sein (Tagesverlauf, Aufzeichnung in fünfzehn Minuten oder Stundenschritten) und verschiedene Nutzungszonen abbilden. Stehen z.B. für ein Gebäude ausschließlich der Jahresheizenergiebedarf (z.B. basierend auf dem Gasverbrauch) und der Jahresstrombedarf zur Verfügung, so ist die Aussage für das Sanierungskonzept auf Grund der geringen Granularität nur bedingt informativ. Jahreswerte sind nichtsdestotrotz hilfreich, um ein virtuelles Gebäudemodell, welches für thermisch dynamische Simulationen verwendet wird, mit den gemessenen Werten abzugleichen. Der aktuelle thermische und elektrische Energiebedarf sowie die im Schritt 1 definierten passiven Maßnahmen bilden dabei die Grundlage für die weitere Entwicklung des Energiekonzepts.

Der thermische Energiebedarf muss dabei in Abhängigkeit von der Nutzung der Räume (geforderter Komfort) ermittelt werden. Dabei sind auch variable Nutzungszeiten und Belegungsdichten, wie sie in Schulgebäuden vorkommen, zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich jeweils der Energiebedarf für Heizen, Warmwasser, Kühlen und Lüften bzw. Klimatisieren. Aus Gründen der Energieeffizienz sollte in einer gemäßigten Klimazone eine mechanische Kühlung und/oder Klimatisierung möglichst vermieden werden. Dabei muss immer auch bedacht werden, mögliche passive Maßnahmen (z.B. passive Nutzung der Sonnenenergie, passive Lüftungssysteme - siehe Schritt 1) effizient auszuschöpfen.

Die Analyse des elektrischen Energiebedarfs steht ebenso in Abhängigkeit von der Innenraumnutzung. Unterschieden wird dabei elektrische Energie für Lüften, Klimatisieren, Beleuchtung und Hilfsenergie. Das Beleuchtungskonzept sollte dabei eine Maximierung der natürlichen Belichtung ermöglichen. Zusätzlich zu architektonischen Maßnahmen (z.B. adäquate Verglasungsanteile, Positionierung der Verglasung, Tageslichtlenksysteme) kommen vor allem regelungstechnische Aspekte zum Einsatz (z.B. Tageslichtsensoren, Bewegungssensoren) die eine optimale Steuerung der künstlichen Beleuchtung in Abhängigkeit von den erforderlichen Lichtverhältnissen im Innenraum ermöglichen.

Optimierung

Bei der Zonierung und effizienten Verteilung der benötigten Energie sind folgende Punkte zu beachten: Welche Art von Energie wird wo/wann im Gebäude benötigt? Wie kann das Gebäude effizient in Abhängigkeit von der Nutzung und der Art des Energieverbrauchs zoniert werden? Welche Raumgruppen bilden in Abhängigkeit von ihrer Nähe zueinander, ihrer Nutzung und ihrer zeitlichen Verfügbarkeit eine Nutzungszone? Wie kann durch die Leitungsführung größtmögliche Effizienz im System hergestellt werden? Die Entscheidung zwischen einem zentralen System (Haustechnikkomponenten versorgen von einer oder

mehreren zentralen Stellen z.B. von einem Haustechnikraum aus das Gebäude) oder dezentralen System (Haustechnikkomponenten sind dezentral in den jeweiligen Nutzungszonen verteilt) spielt dabei eine wesentliche Rolle. Das Für und Wider von etwaigen langen Leitungsführungen mit zentral gesteuerten Systemen muss mit kurzen Leitungsführungen und einer Vielzahl an Komponenten abgewogen werden. Besonders bei einer Sanierung ist dabei auf die räumlichen Gegebenheiten Rücksicht zu nehmen (Raumhöhen, Lüftungsauslässe in der Fassade, Raumbedarf von Technikräumen etc.).

Die Systemauswahl der haustechnischen Komponenten basiert auf der errechneten Last (thermisch/elektrisch), den Kosten (Investitionskosten, Betriebskosten, Entsorgungskosten), den baulichen Voraussetzungen, verfügbaren Wärme- und Kältesenken sowie der Energieverteilung im Gebäude (Luft-/wassergeführte Systeme; hybride Systeme).

Lüftungssysteme sind vor allem im Bereich des Schulbaus gesondert zu analysieren und zu optimieren - siehe dazu Abschnitt 2.6 ‚Lüftungssysteme‘.

Die Regelungstechnik und ein effizientes Monitoring trägt - aufbauend auf der Auswahl der Gebäudetechniksysteme - maßgeblich zur Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes bei. Relevante Aspekte dabei sind die Einbindung in ein BMS¹⁵⁴ und ein detailliertes Konzept der Regelung. Was soll in welchem Ausmaß und zu welchem Zeitpunkt im Gebäude angesteuert werden? Was muss automatisiert ablaufen, was kann manuell von den Nutzern nachgestellt werden? Das Konzept sollte dabei die Regelung bzw. die Schnittstellen der haustechnischen Systeme, die Regelung der baulichen Systeme (Verschattung, öffnbare Elemente, Lüftungselemente) sowie die Regelung der Infrastruktur (z.B. Netzeinspeisung, tarifabhängige Einspeisung) umfassen. Darüber hinaus unterstützt ein Monitoring-Konzept sowie Monitoring Feedback (Vergleich der Ist-Werte mit Simulationen) die Überwachung der Effizienz des Gesamtsystems Gebäude - siehe auch Abschnitt 2.6 ‚Regelungstechnik und Monitoring‘.

METHODIK SCHRITT 3 ERNEUERBARE ENERGIEN

Der dritte Schritt des Energiekonzepts zielt darauf ab, den Restenergiebedarf durch **erneuerbare Energie** vor Ort zu generieren. Zu den Systemen der erneuerbaren Energien zählen in diesem Kontext Kleinwindkraftanlagen (KWKA), Photovoltaik (PV), Solarthermie (ST), Wärmepumpen (WP) und Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Biomasse. Kleinwasserkraftanlagen sind, vor allem in einem urbanen Kontext, kaum vorzufinden und werden damit hier nicht explizit beschrieben.

Eine Übersicht der Systeme ist in Abschnitt 2.6 ‚Erneuerbare Energietechnologien‘ zu finden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Einbindung erneuerbarer Energietechnologien sind in Abschnitt 2.2 ‚Regulative‘ dargestellt.

Ziele, Methodik und Optimierungsmaßnahmen sind in Abbildung 49 zusammengefasst.

¹⁵⁴ Building Management System (Gebäudemanagementsystem)

METHODIK SCHRITT 3 ERNEUERBARE ENERGIEN

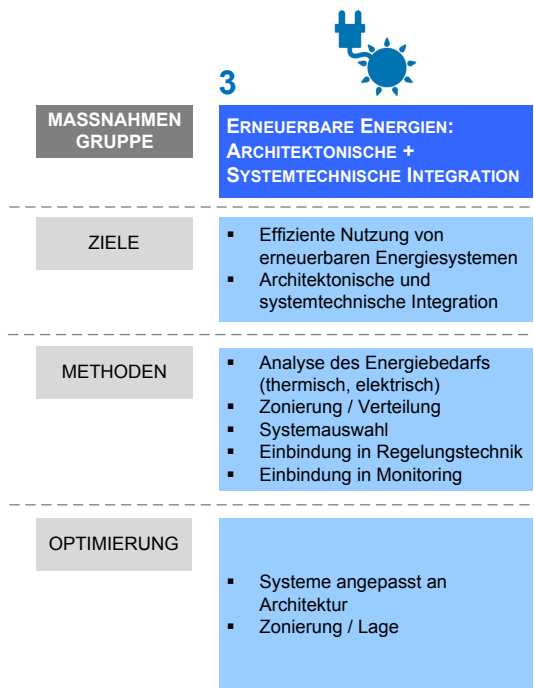


Abbildung 49: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzeptes: Schritt 3 Erneuerbare Energien¹⁵⁵

Ziele

Ziel des dritten Schrittes ist die Einbindung von erneuerbaren Energiesystemen. Die Systeme sollten sowohl mit einer größtmöglichen Effizienz eingesetzt werden als auch architektonisch und systemtechnisch bestmöglich in das Gebäude integriert werden.

Methoden

Methodisch steht die Analyse des Restenergiebedarfs (thermisch und elektrisch) an erster Stelle, um eine optimale Systemauswahl treffen zu können. Die Prüfung der Verfügbarkeit externer Energiequellen, d.h. Strahlungswerte, Windverhältnisse und Bodenbeschaffenheit, dient dazu, abzuschätzen, welche Systeme am effizientesten für den Standort eingesetzt werden können. In urbanen Gebieten werden zumeist solare Systeme in Form von Photovoltaik (PV) oder Solarthermie (ST) zur Strom- oder Wärmeerzeugung eingesetzt sowie Wärmepumpen, die idealerweise auch durch PV angetrieben werden. Wenn es die Architektur des Gebäudes zulässt, können auch Kleinwindkraftanlagen in Betracht gezogen werden. Im Sinne des Baurechts sind diese in Wien prinzipiell zulässig, jedoch wurde von der MA19 bislang nur eine solche Kleinwindkraftanlage auf einem Gebäude in Wien genehmigt - siehe Tabelle 8. Eine detaillierte Übersicht der Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme im Bereich der Sanierung findet sich in Abschnitt 2.6

¹⁵⁵ Aus Vorlesung ‚Ecotecture, Zukunftsorientiertes Planen und Bauen‘, Methodische Ansätze für die Erstellung von Energiekonzepten, Österreicher, 2011

„Erneuerbare Energietechnologien“. Die Systeme sollten auch in das regelungstechnische Konzept eingebunden werden sowie durch ein kontinuierliches Monitoring überwacht werden.

Optimierung

Die Einbindung von erneuerbaren Energiesystemen erfolgt sowohl auf der systemtechnischen als auch auf der architektonischen Ebene.

Im Gesamtsystem der Gebäudetechnik sind in erster Linie die Effizienz des Systems sowie das Erzeugungsprofil über das Jahr gesehen ausschlaggebend. Die Effizienz wird - wie in der gesamten Gebäudetechnik - dabei von der Auswahl der Energiebereitstellungs- und Verteilsysteme bzw. der Kombination der Systeme, der Leitungsführung sowie der Regelungstechnik bzw. des BMS beeinflusst. Wichtig ist jedenfalls - wie oben beschrieben - eine genaue Analyse des Restenergiebedarfs (thermisch, elektrisch), um eine optimale Ausnutzung der Ressourcen zu gewährleisten.

Ziel ist es, einen möglichst hohen Eigenlastanteil zu erreichen. Bei thermischen Systemen ist zumeist ein Speicher vorzusehen, da eine thermische Lastverschiebung in das Netz (z.B. Fernwärme) zum jetzigen Zeitpunkt noch relativ selten durchgeführt wird. Die Größe des Speichers hängt stark von dem erwünschten jährlichen Deckungsgrad ab. Üblich sind Tages- oder Wochenspeicher. Saisonale Großspeicher sind auf Grund ihres Volumens und dem dadurch benötigten Platz noch relativ selten.

Einspeisungen in das elektrische Netz können dann sinnvoll sein, wenn die Tarife des Netzbetreibers bzw. des Energieversorgers entsprechend attraktiv sind. Ziel sollte es jedenfalls in Zukunft sein, die öffentlichen Gebäude (und damit auch Schulen) vermehrt zur urbanen Energiegewinnung heranzuziehen. Sinnvoll können auch kleinere, geschlossene Kreisläufe sein. So kann z.B. ein Photovoltaikelement die direkte Versorgung für ein Verschattungssystem liefern, ohne in das gesamte elektrische Verteilsystem eingebunden zu sein. In diesem Bereich gibt es immer mehr Systemanbieter, die mit ihren Produkten maßgeschneiderte Insellösungen anbieten.

Die architektonische Integration stellt einen zweiten wichtigen Schwerpunkt in der Optimierung des Gesamtsystems dar. Gebäudeintegrierte Systeme sind nachträglich angebrachten bzw. aufgesetzten Systemen vorzuziehen. Einerseits ersetzen sie eine andere Komponente und sparen damit Ressourcen und Kosten, andererseits ist die ästhetische Qualität des Systems als Teil des Gebäudes eine andere. Besonders PV-Elemente lassen sich durch die Vielzahl an Produktvarianten (Farben, Muster, Transparenz etc.) gut in die Gebäudehülle integrieren. Sie können bestehende Gebäudeteile ersetzen oder als additive Gebäudeteile (z.B. in Form von Verschattungselementen) fungieren. Solarthermische Komponenten werden immer noch am häufigsten an bzw. in der Dachhaut angebracht. Eine Integration in die Fassade hat sich vor allem im urbanen Kontext noch nicht durchgesetzt. Kleinwindkraftanlagen stellen eine besondere Herausforderung im architektonischen Kontext dar. Aus statischen Gründen ist eine Anbringung am Dach eines bestehenden Gebäudes ohne zusätzliche bauliche Verbesserungsmaßnahmen – die auch mit hohen Kosten verbunden sein können

- zumeist nicht möglich. Generell sollte bei der Wahl der am besten geeigneten Systeme hinsichtlich einer guten architektonischen Integration auch der gesamte urbane Kontext des Gebäudes mitberücksichtigt werden.

BEGLEITMAßNAHMEN

Als Begleitmaßnahmen werden in diesem Kontext Maßnahmen definiert, die nicht auf eine bauliche bzw. technische Optimierung hinauslaufen, sondern den gesamten Bauprozess begleitend unterstützen. Dazu zählen Finanzierungsformen, Einbindung der Stakeholder in die Konzeptentwicklung, Begleitung der Stakeholder in der Bauphase und bewusstseinsbildende Maßnahmen.

Finanzierungsformen sind vor allem dann relevant, wenn die Finanzierung nicht aus einer Quelle erfolgen kann bzw. wenn bestimmte Maßnahmen nur dann umgesetzt werden können, wenn zusätzliche Budgetmittel lukriert werden können. Eine Reihe von speziell für die Sanierung adäquaten Finanzierungsmodellen sind in Kapitel 2 ‚Rahmenbedingungen‘, Abschnitt 2.2 ‚Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme‘ zusammengefasst.

Die **Einbindung der relevanten Stakeholder in der Konzeptentwicklungsphase** und die **Begleitung in der Bauphase** spielen eine weitere wesentliche Rolle, um eine hohe Akzeptanz von Bauprozessen zu gewährleisten. Besonders bei Sanierungen erfahren Nutzer teilweise große Veränderungen in ihrer gewohnten Wohn-, Arbeits- oder Lernumgebung. Zumeist müssen sie den Bauprozess auch aktiv miterleben, wenn keine Umsiedlung während der Bauarbeiten möglich ist.

Die **bewusstseinsbildenden Maßnahmen** tragen ebenso zur Akzeptanz und zum energieeffizienten Betrieb des Gebäudes bei. So können z.B. über digitale Medien Informationen zum Energieverbrauch angezeigt werden und gleichzeitig auf Einsparmaßnahmen hingewiesen werden oder spezifische Workshops zur energieeffizienten Nutzung des Gebäudes abgehalten werden.

In Abschnitt 3.4 ‚Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Schritt 4‘ werden spezielle für die Schulsanierung relevante Maßnahmen beschrieben.

3.4. Modularer Aufbau ganzheitlicher Sanierungskonzepte im Schulbau

Aufbauend auf der im vorangehenden Abschnitt beschriebenen prinzipiellen Methodik zur Erstellung von Energiekonzepten wird diese in diesem Abschnitt in modulare Teilbereiche aufgegliedert und speziell auf die Schulsanierung adaptiert. Der Fokus liegt dabei auf der Darstellung der Synergien und Wechselwirkungen zwischen energetischer Sanierung und neuen Raumanforderungen in Schulbauten. Ziel des modularen Systems ist es, der unterschiedlichen Komplexität verschiedener Sanierungsprojekte gerecht zu werden und damit eine Grundlage für die Erstellung von räumlich und energetisch optimierten Sanierungskonzepten zu liefern.

METHODIK ZUR ERSTELLUNG EINES ENERGIEKONZEPTS: EINZELMASSNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG

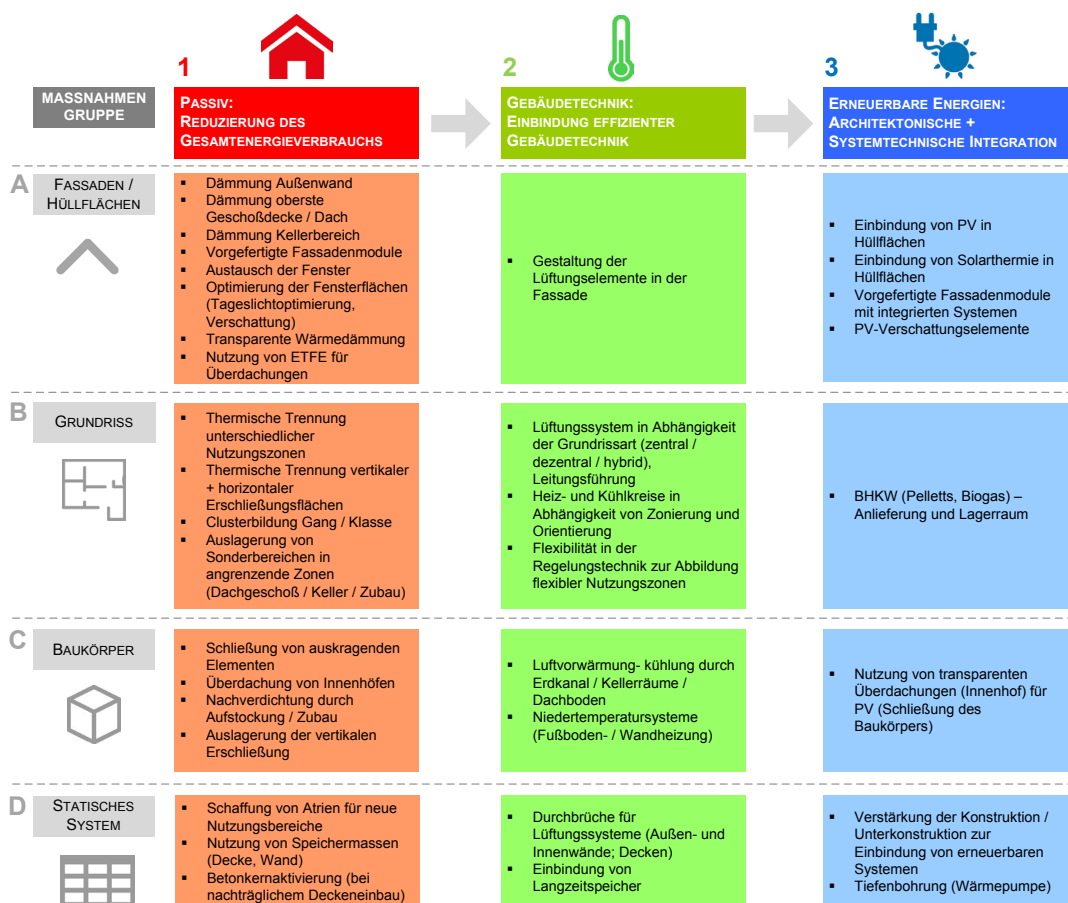


Abbildung 50: Übersicht: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung

Die Einzelmaßnahmen basieren auf den Schritten der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Methodik und sind in die Maßnahmengruppen **Passiv (1)**, **Gebäudetechnik (2)** und **erneuerbare Energien (3)** aufgeteilt und von 1 bis 3 nummeriert, siehe Abbildung 50. Die **Begleitmaßnahmen (4)** sind in einer eigenen Maßnahmengruppe zusammengefasst, da sie als Teil des Gesamtprozesses und nicht in sukzessiver Abfolge gesehen werden

sollten. Die Maßnahmen in den drei Schritten sind jeweils in den vier Themenbereichen **Fassaden/Hüllflächen (A)**, **Grundriss (B)**, **Baukörper (C)** und **Statisches System (D)** gebündelt und mit A, B, C und D bezeichnet. Die Themenbereiche folgen damit der in Abschnitt 3.1 ‚Baustruktur‘ beschriebenen Gebäudeanalyse. Dieser modulartige Aufbau soll die von Projekt zu Projekt unterschiedliche Komplexität und den geforderten Innovationsgrad unterstützen. Je nach Anforderung und Komplexität des Projekts können die Einzelmaßnahmen zu Maßnahmenbündel verknüpft werden um eine größtmögliche Flexibilität für unterschiedliche Gebäudetypologien zu gewährleisten.

In allen Themenbereichen werden zusätzlich zu den Maßnahmen der **Einfluss bzw. die Wechselwirkung und die Verbindung zu neuen Raumanforderungen** im Schulbau skizziert. Die baulichen Maßnahmen sind eng mit der Raumnutzung bzw. geänderten Raumanforderungen bedingt durch neue Schultypen verbunden. Vor allem die Schaffung gesonderter Bereiche für die flexible Nutzung, die z.B. durch die Zusammenlegung von Räumen oder die Nutzung von Gangflächen entstehen kann, steht in direktem Zusammenhang mit der Entwicklung des Energiekonzepts. Ziel ist es, aufzuzeigen, welche energetisch motivierten Maßnahmen einen positiven, synergetischen Effekt auf die Raumstruktur und Innenraumgestaltung haben bzw. bei welchen Maßnahmen besonders auf eine Wechselwirkung geachtet werden muss.

Um eine gute Übersicht der Maßnahmen zu gewährleisten, werden zu Beginn der einzelnen Schritte Maßnahmengruppen dargestellt und im Folgenden im Detail beschrieben. Eine Gesamtübersicht aller Module findet sich in Kapitel 8 / Annex 8.4. Die beschriebenen Maßnahmen bauen in Auszügen auf den im Forschungsprojekt SchulRen+ entwickelten Modulen auf und sind ebenso in Auszügen nach (Dubisch, et al. 2012) beschrieben. Sie stellen eine Auswahl und Basis dar, die prinzipiell für alle Schulsanierungsprojekte zur Anwendung kommen können. Abhängig vom Projekt ist es sinnvoll, mögliche zusätzliche Maßnahmen in die Maßnahmengruppen aufzunehmen.

Unterschiedliche Innovationsgrade in der Sanierung lassen sich durch verschiedene Konzepte darstellen. Dazu sind in Kapitel 8 / Annex 8.4. Listen zur Auswahl von unterschiedlichen Konzeptbündeln dargestellt. Damit kann für ein Projekt eine Zusammenstellung an Maßnahmen für eine **Standard-Sanierung**, **Standard Plus-Sanierung** oder **innovative Sanierung** festgelegt werden. Die Auswahl folgt damit der vorangehend vorgestellten Logik: Passiv, Gebäudetechnik, Erneuerbare Energien und Begleitmaßnahmen. Diese Methodik soll den Planern und Stakeholdern helfen, unterschiedlich innovative Konzepte für ihr Schulsanierungsprojekt in gemeinsamer Abstimmung zu entwerfen. Die Konzepte können in einem weiteren Schritt von den Planern energetisch und budgetär bewertet und räumlich umgesetzt werden. Ziel ist es, damit den relevanten Stakeholdern Entscheidungsgrundlagen zu liefern und den Gesamtprozess in der Schulsanierung zu unterstützen¹⁵⁶.

¹⁵⁶ Als weiterführende Forschung könnte diese Vorgehensweise in einem Softwaretool abgebildet werden. Hier würden die Entscheidungsschritte mit den relevanten Rahmenbedingungen und energetischen Parametern sowie Lebenszykluskosten hinterlegt sein. In der Verknüpfung mit dem Raumprogramm wird dabei ein dreidimensionales räumliches Modell zur Umsetzung kommen, um die Synergien der räumlich-architektonischen und energetischen Verbesserungen auch visuell darzustellen.

EINZELMAßNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG: SCHRITT 1, PASSIV

Die Einzelmaßnahmen der Maßnahmengruppe 1 folgen dem 1. Schritt der Methodik zur Erstellung von Energiekonzepten und beschreiben die **passiven Maßnahmen**. Sie sind wie die folgenden Schritte jeweils in die Themenbereiche 1A Fassaden/Hüllflächen (Abbildung 51), 1B Grundriss (Abbildung 54), 1C Baukörper (Abbildung 56) und 1D Statisches System (Abbildung 59) unterteilt. In jeder Maßnahmengruppe werden die Unterpunkte einzeln sowohl von der technischen Perspektive als auch in Bezug zu ihrer Wechselwirkung zu neuen Raumanforderungen beschrieben.

MASSNAHMENGRUPPE 1A: PASSIV / FASSADEN UND HÜLLFLÄCHEN

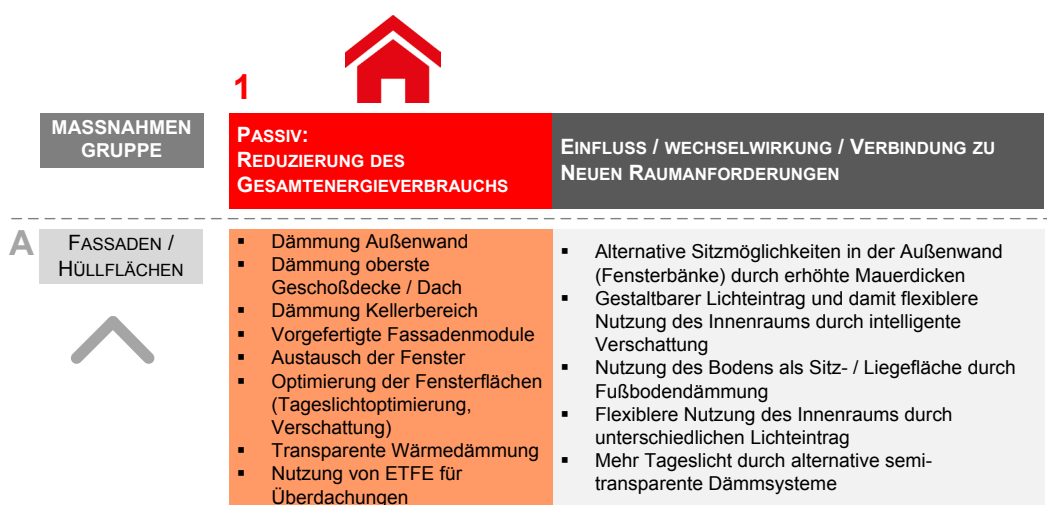


Abbildung 51: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 1A Passiv / Fassaden und Hüllflächen

1A Dämmung Außenwand

Eine Außendämmung verbessert die Langzeitspeicherung einer massiven Wand und erhöht die Energieeffizienz des Gebäudes. Geeignete Dämm-Maßnahmen für die Sanierung von Altbauten sind Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), Varianten von Holzfaser-WDVS und Hartschaum-WDVS Produkte. Für mechanisch stark beanspruchte Bereiche, wie z.B. Sockelbereiche oder Schulhof, bietet der Markt armierte Systeme mit widerstandsfähigeren Dämmstoffplatten an. Um Wärmebrücken zu vermeiden, sollten die Fensterleibungen und der Kellersockel gedämmt werden, der Dämmstoff muss über die Kellerdecke heruntergezogen werden. Bei beheizten Kellerräumen sollte bis auf das Fundament gedämmt werden. Freistehende Feuermauern können (vor allem bei urbanen Gründerzeitbauten) bis zu einem Drittel der Fassadenfläche ausmachen. Im Hinblick auf Energieeffizienz und Nutzungskomfort ist die Dämmung einer Feuermauer daher ein wesentlicher Faktor (Dubisch, et al. 2012).

Als Alternative zur Außendämmung kann speziell bei denkmalgeschützten Fassaden oder stark gegliederten und erhaltungswürdigen Fassaden eine Innendämmung in Betracht gezogen werden. Hierzu können unter anderem Vakuumdämmplatten angewendet werden, die durch ihre geringe Wärmeleitfähigkeit bereits mit geringen Dicken gute

Ergebnisse in Bezug zum Wärmeschutz darstellen. Vakuumpaneele eignen sich dadurch auch gut zur Reduzierung des Einflusses von Wärmebrücken. Problematisch ist die Anbringung bei stark schlagregenbeanspruchten Oberflächen, da es hier zu erhöhten Feuchtigkeitsgehalten in der Wand kommen kann (Korjenic 2003). Kalziumsilikatplatten weisen im Vergleich zu Vakuumdämmplatten eine höhere Wärmeleitfähigkeit auf, sind jedoch auf Grund ihrer feuchtetechnischen Eigenschaften besonders gut für die Sanierung von feuchten und/oder salzbelasteten Wänden geeignet. Generell kann gesagt werden, dass die Anwendung von Innendämmung jedenfalls bautechnisch problematischer ist als die Anwendung von Außendämmung. Durch die Auswahl eines adäquaten Baustoffes und eine fachgerechte handwerkliche Umsetzung können jedoch gute Ergebnisse erzielt werden (Korjenic 2003). Eine eingehende bauphysikalische Untersuchung und Simulation der Wärmebrücken sind jedenfalls im Vorfeld zwingend notwendig.

Eine innen- oder außenliegende Dämmung der Wandflächen verursacht eine Erhöhung der Wanddicke. Dies kann dazu genutzt werden, um alternative Sitzmöglichkeiten wie z.B. Fensterbänke oder Fensteransätze zu schaffen und damit für einen typischen, rechteckigen Klassenraum neue Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen. Gleichzeitig muss darauf geachtet werden, dass durch die erhöhten Wandstärken die Tageslichtqualität nicht beeinträchtigt wird bzw. Maßnahmen zur Verbesserung (z.B. größere Fensterflächen, Lichtlenksystem) umgesetzt werden - siehe dazu auch die Ausführungen in Abschnitt 2.3 ‚Licht‘.

1A Dämmung oberste Geschoßdecke / Dach

Bei Steildächern und wenn der Dachraum weder ausgebaut noch genutzt wird, ist die nachträgliche Dämmung des Fußbodens im Dachraum eine einfache und kostengünstige Lösung, um Wärmeverluste durch die Hülle zu verringern. Geeignete Dämmstoffe dafür sind Dämmplatten aus Mineralfaser, Hartschaum oder Schüttungen aus Perlite und Zellulose. Beim Einsatz von Vakuumisulationspaneelen (VIP) im Bereich des Übergangs der Fassade zum Dachraum kann die Beschädigung der Paneele durch die Anbringung von Faserzementplatten stark vermindert werden, wie am Beispiel der Franz-Jonas Schule in Abbildung 52 dargestellt (Dubisch, et al. 2012).

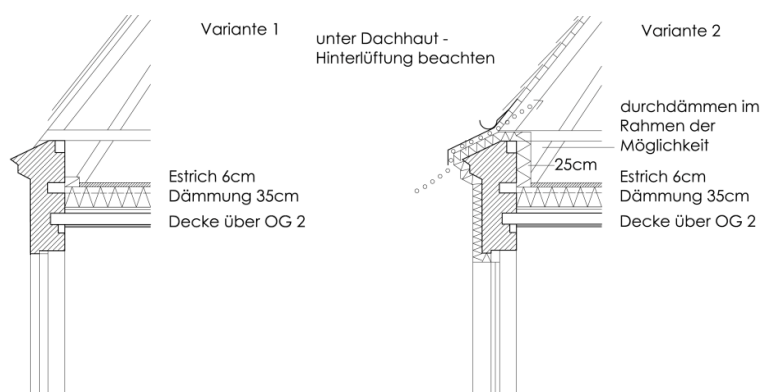


Abbildung 52: Varianten zur Dämmung der obersten Geschoßdecke am Beispiel der Franz Jonas Europaschule; (Dubisch, et al. 2012)

1A Dämmung Kellerbereich

Die Dämmung der Kellerdecke ist zumeist technisch unproblematisch realisierbar. Damit wird eine thermische Trennung des Kellers zu den konditionierten Räumen erreicht. Der Keller bleibt unbeheizt und kann z.B. als Technik- oder Lagerraum genutzt werden. Geeignete Dämmstoffe sind dabei Glaswolle-, Steinwolle- oder Zelluloseplatten, wahlweise mit bereits fertiger Deckschicht (Dubisch, et al. 2012), siehe Abbildung 53. Vakuum-Dämmplatten kommen auch für die Kellerdecken zum Einsatz, siehe dazu Annex Projektbeispiel 17: Europa Schule Reutershagen.

Gerade im Erdgeschoßbereich kann eine Dämmung der Kellerdecke zusätzlichen Komfort in den Klassenräumen bringen, da die Oberflächentemperatur des Fußbodens dadurch stabiler wird. Bei einem nachträglichen Einbau einer Fußbodenheizung ist eine Dämmung jedenfalls notwendig, andernfalls geht ein Teil der Heizleistung in den Kellerraum. Eine Fußbodenheizung erhöht den Innenraumkomfort und schafft zusätzliche Sitz- und Liegeflächen durch die erweiterte Nutzung des Fußbodens in der Klasse.

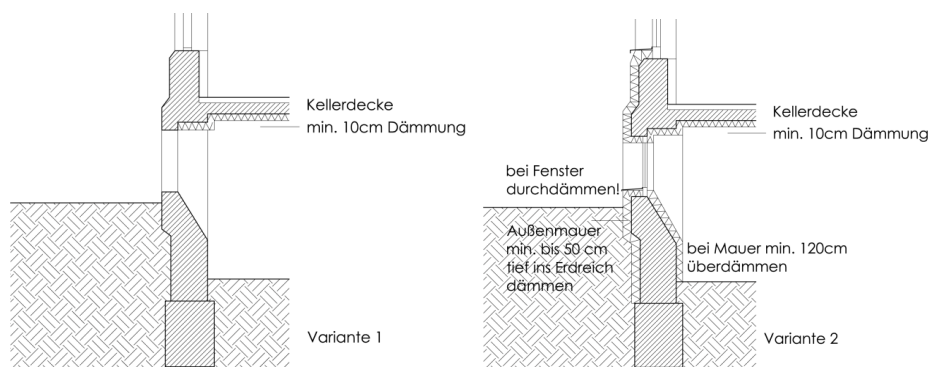


Abbildung 53: Varianten zur Dämmung der untersten Geschoßdecke (Kellerdecke) am Beispiel der Franz Jonas Europaschule; (Dubisch, et al. 2012)

Sowohl bei der Dämmung der obersten Geschoßdecke als auch bei der Dämmung der Kellerdecke sollte eine Analyse der kritischen Bereiche durch detaillierte bauphysikalische Simulationen durchgeführt werden. Siehe dazu Kapitel 4 Beispiel / Bewertung der Sanierungskonzepte / Kritische Bereiche.

1A Vorgefertigte Fassadenmodule

Vorgefertigte Fassadenmodule bieten sich als Alternative zum außenliegenden Vollwärmeschutz als Vorhangfassaden an. Damit können einerseits nachhaltige Dämmstoffe aus Recycling bzw. Naturmaterialien verwendet als auch andererseits aktive Systeme in die Fassade miteingebaut werden. Diese Systeme können besonders dann effizient angewendet werden, wenn die Fassade replizierbare Elemente aufweist und z.B. nach einem Rastersystem aufgebaut ist. Die Vorfertigung hat darüber hinaus den Vorteil, dass eine hohe Qualität des Gesamtsystems, welches unter konditionierten Bedingungen hergestellt wird, erreicht werden kann. Die Elemente können vorab produziert werden und ermöglichen damit auch eine relativ kurze Baustellenszeit. Das ist ein Vorteil, der in der Schulsanierung von besonderer Relevanz ist, da für die Bauarbeiten vor Ort teilweise nur

die (Sommer)Ferien zur Verfügung stehen. Vorgefertigte Fassadensysteme werden vor allem in Holz-Leichtbauweise ausgeführt und oftmals als eigene statische Konstruktion vor der alten Fassade angebracht.

Im Forschungsprojekt S.A.M. (Revitalisierung mit Synergie Aktivierenden Modulen S.A.M) wurden diesbezügliche Konzepte erarbeitet und die Vorteile wie folgt zusammengefasst (Sandbichler 2004):

- *Kurze Errichtungszeit, hoher Vorfertigungsgrad*
- *Kosteneinsparung durch selektive Eingriffe, kompromisslose Technologien*
- *Ausführung ohne Betriebsunterbrechung, kein Ausweichquartier erforderlich*
- *Sofortige Nutzbarkeit, Errichtung ohne Primärkonstruktion*
- *Energieeinsparung, Offenheit für technologische Neuentwicklungen*
- *Anpassungsfähigkeit und Effizienz der Maßnahmen, Möglichkeit von Baustufen*
- *Erfolgssicherung durch Ausführung und Test von Prototypen*
- *Hohes gestalterisches Potential, Vielseitigkeit der Mittel*
- *Erhaltung vorhandener Qualitäten, Respekt vor historischer Baukultur*
- *Berücksichtigung emotionaler Nutzeraspekte*
- *Verdichtung bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität*
- *Einfache Handhabung für Planer und Ausführende, Systematisches Konzept*
- *Impuls für nachhaltig orientierte Bauwirtschaft (regionale Unternehmen)*

Zahlreiche Beispiele belegen die hohe Akzeptanz dieser Systeme in der Schulsanierung: siehe Abschnitt 8.5 ‚Projektbeispiele‘: Polytechnische Schule und Hauptschule II Schwanenstadt (Projektbeispiel 1), Hauptschule Bezau (Projektbeispiel 2), Allgemeine Sonderschule 06 Linz (Projektbeispiel 3), Allgemeine Sonderschule 04 Linz (Projektbeispiel 4), Hauptschule Zams-Schönwies (Projektbeispiel 5), Volksschule Mähdle (Projektbeispiel 6), Volksschule St. Leonhard (Projektbeispiel 9) und Volks- und Hauptschule Rainbach im Mühlkreis (Projektbeispiel 18).

Vorgefertigte Fassadenmodule ermöglichen auch eine Integration von erneuerbaren Energiesystemen, siehe dazu Maßnahmengruppe 3A / Abschnitt 3A Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen / Abbildung 64.

1A Austausch der Fenster

Eine Sanierung der Fassade sollte nicht nur die opaken, sondern auch die transparenten Bauteile und damit einen Austausch bzw. eine Adaptierung der Fenster beinhalten. Die neuen Fenster sollten außenbündig mit der alten Außenwand eingebaut werden. Abgesehen von ästhetischen Aspekten und zeitgemäßer Gestaltungsmöglichkeiten kann auch die Tageslichtversorgung verbessert, die Dämmmaßnahme erleichtert (keine Leibungsdämmungen nötig) und der Wärmeverlust verringert werden, weil die Wärmebrücke bei den Fensterleibungen entfällt, sofern diese bündig in die thermische Hülle integriert sind. Alu- oder Holz-Alu-Fenster mit Wärmeschutzverglasung sind wegen ihrer geringen Wartung und guten architektonischen Einbindung in das Gebäude besonders geeignete Produkte. Aufgrund der verbesserten Luftdichtheit von modernen Fenstern ist jedoch das Lüftungsverhalten entsprechend anzupassen. Da die Belüftung

der Räume nicht mehr in Form von unkontrollierbarer Zugluft durch alte und undichte Fenster erfolgt, muss der hygienisch erforderliche Luftwechsel im schulischen Betrieb gesichert werden - siehe dazu Ausführungen in Abschnitt 2.3 ‚Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität‘. Bei reiner Fensterlüftung müssen die Fenster ein Lüften während des Unterrichts ermöglichen, da die Lüftungsquerschnitte in Kippstellung nicht ausreichend sind. So nehmen z.B. zweiflügelige Holz-Alu-Fenster mit Wärmeschutzverglasung in offenem Zustand weniger Raum in Anspruch und sind in der Nutzung effizienter (Dubisch, et al. 2012).

Mit Granulat und Gelfüllungen können U-Werte bis zu $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}^{157}$ erzielt werden. Die typischen Nachteile einer Standardisolierverglasung, wie Wärmeverluste durch Konvektion im Scheibenzwischenraum, werden vollständig eliminiert. Gleichzeitig muss ein effizienter Sonnenschutz vorhanden sein, um die Klassenräume vor Überhitzung zu schützen, wobei aber eine hohe Tageslichtqualität zu gewährleisten ist - siehe auch Abschnitt 2.3 ‚Licht‘.

1A Optimierung der Fensterflächen (Tageslichtoptimierung, Verschattung)

Wenn die Fassade nicht denkmal- oder ensemblesgeschützt ist, kann in der Planung auch eine Veränderung der Fensterflächen in Betracht gezogen werden. In Abhängigkeit vom Tageslichteintrag im Innenraum können die transparenten Fassadenelemente vergrößert, adaptiert oder verkleinert werden. Eine Tageslichtoptimierung kann auch durch Lichtlenksysteme, die direktes Sonnenlicht tiefer in den Innenraum bringen, oder durch intelligente Verschattungssysteme umgesetzt werden. Dadurch wird der Lichteintrag gestaltbarer und die Nutzung des Innenraums flexibler.

Um eine optimale Tageslichtplanung zu gewährleisten sollte jedenfalls eine Tageslichtsimulation für ausgewählte Bereiche durchgeführt werden - siehe dazu Abschnitt 2.3 ‚Licht‘.

1A Transparente Wärmedämmung (TWD)

TWD sollte dort eingesetzt werden, wo Lichteintrag gewünscht, aber kein Sichtkontakt nach außen notwendig ist. TWD kombiniert den Vorteil einer sehr hohen Wärmedämmfähigkeit bei gleichzeitigem Lichteintrag. Bei Klassenräumen sollte TWD nur in Kombination mit vollständig transparenten Elementen eingesetzt werden. In Bibliotheken oder anderen Nebenräumen kann TWD in Teilen statt einer massiven Außenwand genutzt werden, um durch Lichtlenkung zusätzliches Tageslicht in den Innenraum zu bringen, wobei auf eine unerwünschte Blendung geachtet werden muss. Die wärmedämmenden Eigenschaften werden dabei durch die meist wabenartige Struktur erreicht, die die Luftschichten in kleine Volumina unterteilt. TWD ist nur relativ dünn sinnvoll einsetzbar, da sie andernfalls durch Überhitzung Schaden nehmen könnte. Am einfachsten ist die Anwendung der TWD in Verbindung mit einem Fensterelement. Der Systemaufbau ist einfach und die Investitionskosten relativ gering. TWD vor massiven

¹⁵⁷ Okagel von Okalux; www.okalux.de / Zugriff 08.02.2015

Außenwänden nutzt die Strahlungsenergie zur Erwärmung des Innenraumes. Die Wand dient dabei mit einer absorbierenden Oberfläche als Wärmespeicher (Eder 2002).

Die Kartonwabendämmung stellt eine spezielle Form der Wärmedämmung dar. Je nach Sonnenstand scheint die Sonne in die Dämmung hinein und wird erst ab einer Stärke von ca. 2cm absorbiert (Volumen-Wärmequelle statt Flächen-Wärmequelle). Diese kann vor allem im Leichtbau gut eingesetzt werden, da sie keine Speichermasse benötigt und auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau Strahlungsenergie nutzbar macht. Abschattung ist demzufolge nicht notwendig, was wiederum den Wartungs- und Investitionsaufwand reduziert (Eder 2002).

1A Nutzung von ETFE¹⁵⁸ für Überdachungen

ETFE wird im Bausektor für Folien verwendet, die auf Grund ihres geringen Eigengewichts, ihrer extrem guten Festigkeit und hohen Lichtdurchlässigkeit für Überdachungen verwendet werden können. Sie sind darüber hinaus relativ schmutzresistent und haben eine sehr hohe Lebensdauer (ca. 50 Jahre). Die Folien werden zumeist in zwei- oder mehrlagigen pneumatischen Konstruktionen verwendet und können auch bedruckt werden (z.B. für Verschattungselemente). Im Schulbau eignen sich derartige System z.B. für die großflächige Überdachung von Innenhöfen. Beachtet werden muss dabei, dass ETFE schlechtere akustische Eigenschaften als Glas aufweist. Es müssen daher Maßnahmen getroffen werden, um möglichen akustischen Problemen vorzubeugen - siehe Abschnitt 2.3 ‚Spezifische Anforderungen / Akustik‘ sowie Maßnahmengruppe 3A / Abschnitt 3A PV-Verschattungselemente / Abbildung 64.

MASSNAHMENGRUPPE 1B: PASSIV / GRUNDRISS

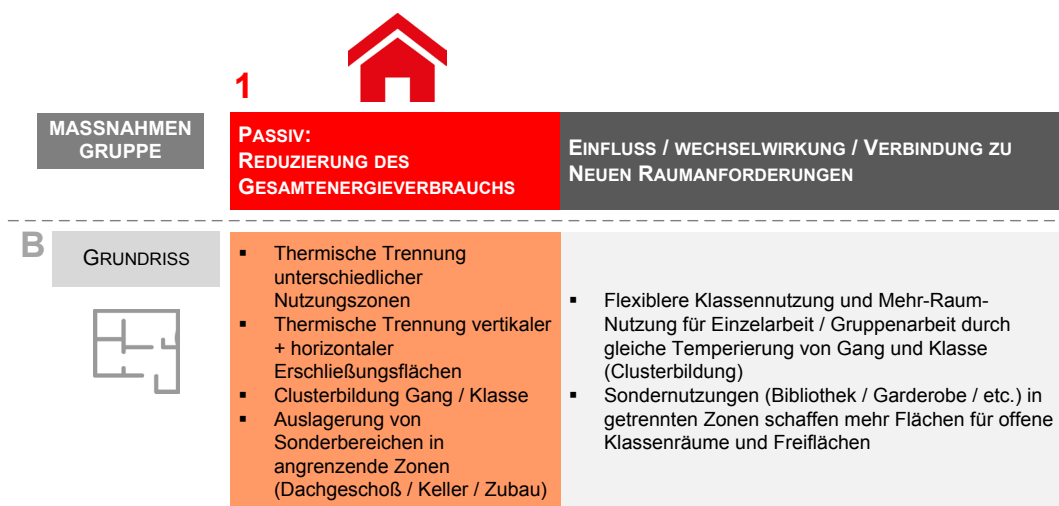


Abbildung 54: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 1B Passiv / Grundriss

¹⁵⁸ Ethylen-Tetrafluorethylen (Kunststoff mit geringem Gewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit)

1B Thermische Trennung unterschiedlicher Nutzungszonen

Eine räumliche und thermische Trennung unterschiedlicher Nutzungszonen ist dann sinnvoll umgesetzt, wenn diese auch zu stark variierenden Zeiten genutzt werden. Wenn z.B. ein ganzer Schultrakt ausschließlich am Vormittag genutzt wird und am Nachmittag leer steht, kann es sinnvoll sein, diesen Teil thermisch von dem Teil, der den ganzen Tag genutzt wird, zu trennen. Dies ermöglicht eine unterschiedliche Konditionierung der einzelnen Nutzungszonen, wenn das gesamte Gebäude auch entsprechend regelungstechnisch abgebildet ist und getrennte Zonen angesteuert werden können. Bei sehr gut gedämmten und massiven Gebäuden werden die dadurch erzielten Einsparungen allerdings eher gering sein, da eine relativ hohe Speichermasse und eine gute Außenhülle kurzfristige Temperaturabsenkungen bzw. Erhöhungen verhindern - Siehe dazu Kapitel 4 ‚Beispiel / Energetische Bewertung‘. Ist eine Dämmung der Außenhaut z.B. auf Grund des Denkmalschutzes nicht möglich und damit eine hochwertige thermische Hülle nicht gegeben, so sollte das Potential der Energieeinsparung durch dieses ‚thermische Clustering‘ jedenfalls in einer thermisch-dynamischen Simulation überprüft werden.

1B Thermische Trennung vertikaler + horizontaler Erschließungsflächen

Zusätzliche Flucht-Stiegenhäuser im Außenbereich ermöglichen ein vereinfachtes brandschutztechnisches Konzept und damit eine erweiterte Nutzung bestehender Flächen. Pausenräume und Gänge könnten damit ohne aufwändige brandschutztechnische Barrieren den Klassenclustern hinzugefügt werden und erweitern damit die flexible Nutzung der Innenräume. Die thermische Trennung neuer, extern liegender Flucht-Stiegenhäuser sollte jedenfalls in einer thermisch-dynamischen Simulation untersucht werden, da dies in Abhängigkeit von Grundriss und Dämmeigenschaften der Außenhülle eine höhere oder niedrige Gesamtenergieeffizienz bewirken kann - siehe auch 1C ‚Schließung von auskragenden Elementen‘ und 1C ‚Auslagerung der vertikalen Erschließung‘. In Abbildung 55 ist am Beispiel der in Kapitel 4 beschriebenen Schule die Veränderung des Fluchtwegs bei einer zusätzlichen Fluchtstiege dargestellt.

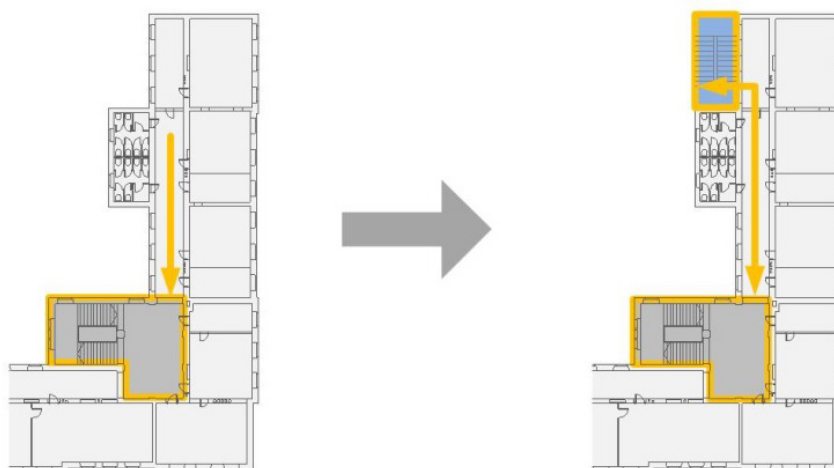


Abbildung 55: Beispielhafte Darstellung von Schaffung zusätzlicher vertikaler Erschließung am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012)

1B Clusterbildung Gang / Klasse

Die Schaffung neuer Brandabschnitte in bestehenden Gebäuden kann mit der Schaffung von hybriden, funktionalen Zonen verbunden werden, um den geänderten pädagogischen Anforderungen (siehe 2.3 ‚Räumliche und organisatorische Anforderungen‘) besser gerecht zu werden. Ein wesentlicher Aspekt davon ist die Gruppierung von Klassenzimmern in *Cluster* und die Auflösung der Grenzen zwischen Klassenraum und informellen Zonen (Dubisch, et al. 2012). Eine einheitliche Temperierung von Gang und Klasse (Clusterbildung) schafft eine flexiblere Klassennutzung und Mehr-Raum-Nutzung für Einzel- und Gruppenarbeit. Die Clusterbildung muss jedenfalls im Gesamtnutzungskonzept detailliert analysiert werden. Eine Trennung der Erschließungsflächen (siehe oben) erleichtert die Clusterbildung. Das brandschutztechnische Konzept muss hier auch besonders beachtet werden, da Gänge, die als Fluchtwege genutzt werden, nicht in ihrer Evakuierungsfunktion behindert werden dürfen bzw. die erforderlichen Breiten nicht unterschritten werden dürfen.

Die Schaffung von zwei Fluchtwegen aus jedem Klassenzimmer kann zur Neubelebung der Idee der Freiluftklasse bei an Freiräume angrenzenden Erdgeschoßklassen führen (siehe Abschnitt 2.3 ‚Abbildung 26‘). Eine räumliche Strukturierung der Schule durch die soziale Gliederung der Arbeitszusammenhänge kann die Gliederung von Gesamteinheiten und Clusterbildung unterstützen. Einzelne Jahrgänge können so z.B. auf jeweils ein Stockwerk mit eigenem Zentrum und Lehrerzimmer zusammengefasst werden (Dubisch, et al. 2012).

1B Auslagerung von Sonderbereichen in angrenzende Zonen (Dachgeschoß / Zubau)

Der Ausbau von ungenutzten Flächen wie z.B. einem Dachgeschoß stellt zwar per se keine Sanierungsmaßnahmen dar, jedoch können bei gleichzeitiger Sanierung und Ausbau von zusätzlichen Flächen technisch-wirtschaftliche Synergien genutzt werden. Durch eine Vermietung der zusätzlich gewonnenen Flächen könnten zusätzliche Budgetmittel für eine umfassende Sanierung gewonnen werden. Demnach braucht es - abgesehen von technischen Lösungen - Finanzierungsmodelle, die eine gesonderte Nutzung unterstützen, siehe auch Abschnitt 2.2 ‚Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme‘. Im Dachgeschoß könnten damit Sonderbereiche einer möglichen Ganztagschule, wie z.B. Bibliothek, Laborräume oder Freizeitbereiche untergebracht werden. Sondernutzungen in getrennten Zonen schaffen mehr Flächen für offene Klassenräume und Freiflächen.

Da die konventionelle Sanierung eines (gründerzeitlichen) Gebäudes ein breites Spektrum an unterschiedlichen Maßnahmen von Instandsetzung und Erneuerung umfasst, gilt es die spezifischen Raumpotenziale im Bestand aufzugreifen und in Relation zu neuen pädagogischen Anforderungen und zum Stand der Technik zu setzen. Ein nicht ausgebautes Dachgeschoß stellt damit ein hohes Potenzial für diese Erneuerung dar. (Dubisch, et al. 2012) - siehe auch Maßnahmengruppe 4III Vermietung von Sonderflächen (Dachgeschoß / Keller / Zubau).

MASSNAHMENGRUPPE 1C: PASSIV / BAUKÖRPER



Abbildung 56: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 1C Passiv / Baukörper

1C Schließung von auskragenden Elementen

Rücksprünge und Erker schaffen zusätzliche Außenflächen und erhöhen durch einen ungünstigen A/V-Faktor¹⁵⁹ den Energieverbrauch (siehe Abschnitt 2.5 / Architektonische Parameter). Bei Gründerzeitbauten sind z.B. WC-Gruppen oder andere Nebenräume oft auskragend an der Außenwand angebracht. Diese können durch ein ‚Auffüllen‘ in die Gesamtstruktur integriert werden. Durch eine Vereinfachung der Gebäudestruktur werden zusätzliche Pausen-, Lese- und Spielflächen geschaffen. Gleichzeitig wird eine kompakte Bauweise hergestellt. Durch die Umschließung der Erker werden sowohl die Gesamtenergieeffizienz erhöht als auch die Flächen vergrößert - siehe Abbildung 57 am Beispiel der in Kapitel 4 beschriebenen Schule.

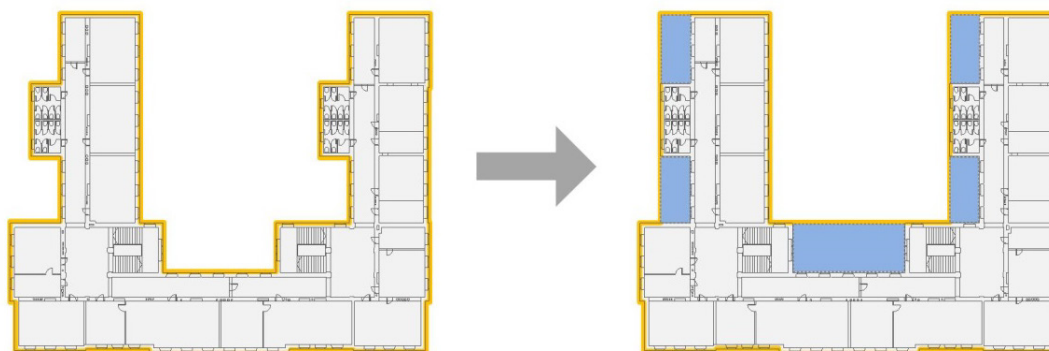


Abbildung 57: Beispielhafte Schließung von auskragenden Elementen am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012)

¹⁵⁹ A-V Faktor: Area / Volume Faktor (Fläche/Volumen)

1C Überdachung von Innenhöfen

Durch eine Überdachung von Innenhöfen kann die Kompaktheit des Gebäudes verbessert, die Außenflächen verkleinert und die Energieeffizienz ebenso wie bei der Umschließung der Erker erhöht werden - siehe auch 1A Nutzung von ETFE für Überdachungen, 3A Einbindung von PV in Hüllflächen und 3A PV-Verschattungselemente. Eine Überdachung ist vor allem dann sinnvoll, wenn zusätzliche geschützte Flächen (z.B. Pausenräume) benötigt werden. Dennoch ist eine vollständige Überdachung und damit ein Wegfall jeglicher Freiflächen nicht zu empfehlen, da innenliegende Pausenflächen auch aus physiologischen Gründen nicht den Aufenthalt im Freien ersetzen können - siehe Abschnitt 2.3 ‚Licht‘. In Abbildung 58 ist am Beispiel aus Kapitel 4 eine zusätzliche Überdachung des Innenhofs dargestellt.

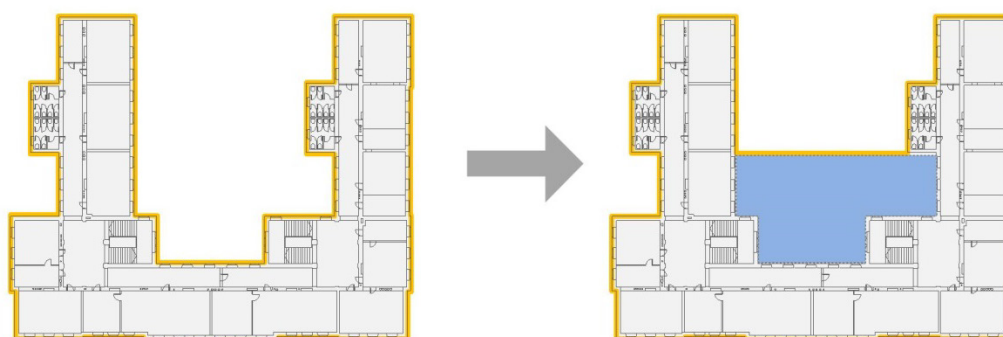


Abbildung 58: Überdachung von Innenhöfen am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012)

Die Überdachung eines Schulhofs ermöglicht auch die Aufstellung von flexiblen Systemen wie z.B. Containerräumen. Diese können geschosswise Pausenflächen auf begehbaren Raummodulen bieten und damit weitere Nutzflächen schaffen. Die Klimahülle umschließt den reduziert beheizten Bereich und bietet ein wetterunabhängiges zusätzliches Raumangebot.

1C Nachverdichtung durch Aufstockung / Zubau

Eine Nachverdichtung kann die Kompaktheit des Gebäudes erhöhen und zusätzliche Raumangebote schaffen. Die Möglichkeit einer Aufstockung hängt von der Bauklasse des Grundstücks und vom statischen Zustand des Gebäudes ab. Ein Zubau ist dann möglich, wenn Freiflächen genutzt werden können bzw. die Grundstücksgrenze z.B. durch einen Zukauf erweitert werden kann. Finanzierungsmodelle, die eine Vermietung der neuen Flächen ermöglichen, erleichtern die Finanzierung - siehe auch 1B Auslagerung von Sonderbereichen in angrenzende Zonen (Dachgeschoß / Zubau), 4III Vermietung von Sonderflächen (Dachgeschoß / Keller / Zubau) und Abschnitt 2.2 ‚Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme‘.

1C Auslagerung der vertikalen Erschließung

Im Zusammenhang mit der Schaffung von neuen (externen) Flucht-Stiegenhäusern können durch den Flächengewinn zusätzliche räumliche Potenziale genutzt werden. Passende Flächen zwischen bestehenden Stiegenhäusern können als wertvolle Pausenflächen bzw. Rückzugsnischen adaptiert werden. Zugleich werden eine kompakte Gebäudehülle hergestellt und zusätzliche Innenräume geschaffen. Die direkte Verbindung zwischen Innen und Außen ermöglicht damit eine vielfältige und flexible Nutzung - siehe auch 1B Thermische Trennung vertikaler + horizontaler Erschließungsflächen.

MASSNAHMENGRUPPE 1D: PASSIV / STATISCHES SYSTEM



Abbildung 59: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Massnahmengruppe 1D Passiv / Statisches System

1D Schaffung von Atrien für neue Nutzungsbereiche

Wenn es das statische System zulässt, und der Wegfall von Nutzungsflächen durch andere Maßnahmen kompensiert werden kann, dann können Atrien neue architektonische Akzente schaffen und Erschließungszonen offen miteinander verbinden. Durch den Wegfall von abgehängten Decken kann auch Raumhöhe gewonnen werden, ohne dass eine Atriumsituation entsteht. Ebenso kann eine Verbesserung der Standsicherheit (z.B. Deckenverstärkung, Erhöhung der Erdbbensicherheit), die auf Grund von statischen Erfordernissen im Zuge einer Sanierung durchgeführt werden muss, mit der Schaffung neuer Raumsituationen verbunden werden (Dubisch, et al. 2012) - siehe 3A Einbindung von PV in Hüllflächen und 3A PV-Verschattungselemente.

1D Nutzung von Speichermassen (Decke, Wand)

Ein gut wärmespeicherfähiger Stoff kann viel Energie aufnehmen ohne seine Temperatur substantiell zu verändern. Die Speichermasse des Gebäudes wirkt dabei stabilisierend auf die Raumtemperatur. Je größer die Speichermasse, desto stabiler sind die Innenraumtemperaturen. Die Wirksamkeit der Speichermasse ist dabei auch von den Oberflächen im Innenraum abhängig. Decken können als thermische Speicher aktiviert werden, wenn genügend Speichermasse vorhanden ist und diese nicht durch abgehängte Decken in ihrer Wirksamkeit beeinträchtigt werden.

Die Speichermasse kann auch in massiven Wänden genutzt werden. Decken sind jedoch im Regelfall leichter nutzbar, da Wände durch Möbel an freier Fläche verlieren können. Besonders bei Lüftungskonzepten, die auch Nachtkühlung anwenden, ist eine ausreichende speicherwirksame Masse ein wichtiges Kriterium - siehe Abschnitt 2.6 / Lüftungssysteme.

1D Betonkernaktivierung (bei nachträglichem Deckeneinbau)

Ein in Betondecken eingelegtes Leitungssystem, welches entweder warmes oder kaltes (vorkonditioniertes) Wasser enthält, gibt durch einen langsamen Wärmeübertrag entweder Wärme an die Decken ab (Winter) oder nimmt diese aus den Decken auf (Sommer). Eine Betonkernaktivierung ist dann bautechnisch und ökonomisch effizient möglich, wenn durch einen Zubau nachträglich Decken eingezogen werden. Durch die Strahlungsheizung einer Betonkernaktivierung kann Niedertemperaturwärme effizient genutzt und ein angenehmes Innenraumklima geschaffen werden. Ein nachträglicher Einbau einer Betonkernaktivierung in eine bestehende Decke ist in den meisten Fällen technisch aufwändig und demzufolge unwirtschaftlich.

EINZELMAßNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG: SCHRITT 2, GEBÄUDETECHNIK

In der Maßnahmengruppe 2 werden die Unterpunkte im Bereich der **Gebäudetechnik** zusammengefasst. Diese Maßnahmengruppe folgt dem 2. Schritt der Methodik zur Erstellung von Energiekonzepten. Die Maßnahmen sind wie auch die passiven Maßnahmen in Schritt 1 den Themenbereichen 2A Fassaden/Hüllflächen (Abbildung 60), 2B Grundriss (Abbildung 61), 2C Baukörper (Abbildung 62) und 2D Statisches System (Abbildung 63) zugeordnet. Ein Fokus wird dabei wiederum auf die Wechselwirkung bzw. die Verbindung zu den neuen Raumanforderungen im Schulbau gelegt.

MASSNAHMENGRUPPE 2A: GEBÄUDETECHNIK / FASSADEN UND HÜLLFLÄCHEN

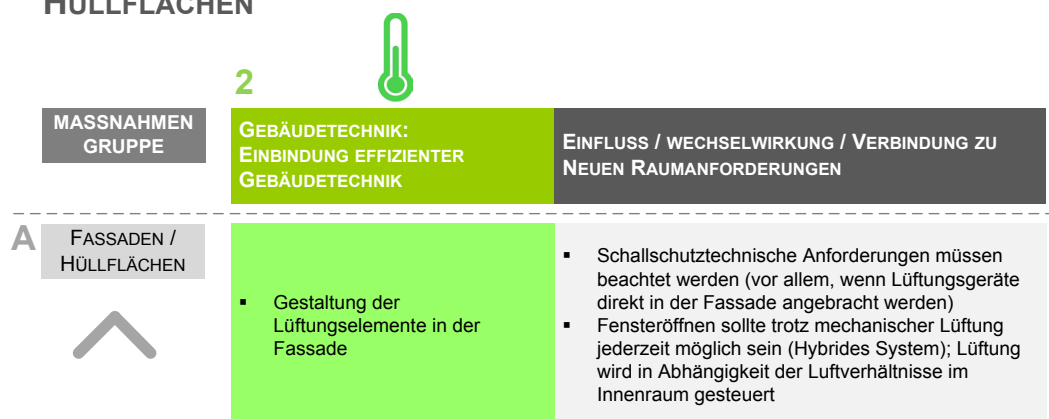


Abbildung 60: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2A Gebäudetechnik / Fassaden und Hüllflächen

2A Gestaltung der Lüftungselemente in der Fassade

Die Integration der Lüftungselemente in die Fassade hängt sowohl von der Baustruktur (Massivbau/Skelettbau) als auch von der Art des Lüftungskonzepts ab. Im Bereich der Gebäudetechnik stellen Lüftungselemente aktive Komponenten dar (im Vergleich zu passiven Komponenten, wie z.B. Fenster, die manuell betätigt werden müssen). Die Einbindung von mechanischen Lüftungssystemen in die Fassade kann bei einem Massivbau relativ aufwändig sein und stellt vor allem eine architektonische Herausforderung in der Gestaltung dar. Besonders bei denkmalgeschützten Gebäuden ist eine fassadenintegrierte Lüftung kaum durchführbar. Im Skelettbau eröffnen sich mit der Weiterentwicklung von vorgefertigten Fassadenmodulen architektonisch und bautechnisch ausgereifte Möglichkeiten, Lüftungskomponenten direkt in die Hülle zu integrieren (siehe 1A Vorgefertigte Fassadenmodule) und diese mit anderen erneuerbaren Energiesystemen zu kombinieren (siehe 3A Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen).

Bei der Integration müssen schallschutztechnische Anforderungen beachtet werden (vor allem, wenn Lüftungsgeräte direkt in der Fassade angebracht werden). Generell sollte das Öffnen der Fenster trotz mechanischer Lüftung jederzeit möglich sein (hybrides System). Die Frischluftzufuhr wird dabei in Abhängigkeit von den Luftverhältnissen im Innenraum gesteuert. In der Uhlandschule (Annex Projektbeispiel 16: Uhlandschule Grund und Hauptschule mit Werkrealschule) sind Miniluftkanäle, Elektroinstallationen, Leitungen und Solarpaneele in vorgefertigten Elementen mit Vakuumdämmpaneelen in die Außenwand integriert. Die Schule bietet damit ein gutes Beispiel einer multifunktionalen Fassade nach einem Sanierungsfall.

Eine umfassende Darstellung verschiedener Lüftungskonzepte und der Herausforderungen in der Schulsanierung ist in Abschnitt 2.6 ‚Lüftungssysteme‘ zu finden.

MASSNAHMENGRUPPE 2B: GEBÄUDETECHNIK / GRUNDRISS

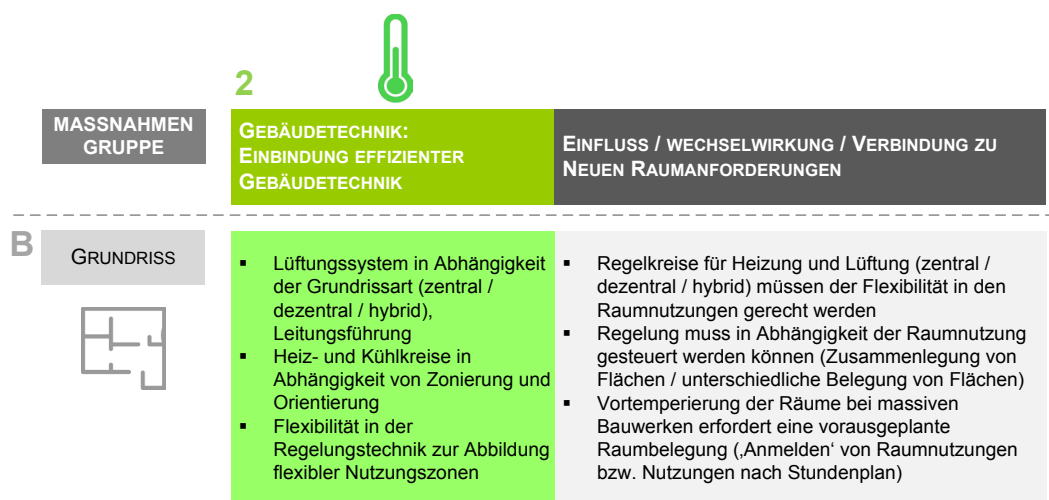


Abbildung 61: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2B Gebäudetechnik / Grundrisse

2B Lüftungssystem in Abhängigkeit von der Grundrissart (zentral / dezentral / hybrid), Leitungsführung

Die Auswahl des Lüftungssystems hängt sowohl von der Hüllfläche bzw. Baustruktur (siehe 2A Gestaltung der Lüftungselemente in der Fassade) als auch von der Grundrissart ab. Die natürliche Lüftung benötigt adäquat dimensionierte Lüftungsquerschnitte und Positionierung der öffnenbaren Elemente zueinander. In Abbildung 39 (Abschnitt 2.6 / Lüftungssysteme) sind die drei Grundprinzipien der natürlichen Lüftung dargestellt: einseitige, beidseitige oder Querlüftung und Kaminlüftung. Auch wenn die natürliche Lüftung die bautechnisch und architektonisch einfachste Lösung in einem Projekt darstellen kann, ist sie aus Sicht der Energieeffizienz bei gleichzeitig hoher Raumluftqualität zu hinterfragen und dementsprechend projektabhängig zu analysieren.

Mechanische Lüftungen werden in zentrale Lüftungsanlagen, dezentrale Systeme mit mehreren Lüftungseinheiten und dezentrale Lüftungseinheiten mit Kompaktlüftungsgeräten eingeteilt (siehe Abschnitt 2.6 / Lüftungssysteme / Abbildung 41). Die Leitungsführung bzw. Leitungslänge ist dabei von zentraler Bedeutung: energetische Leitungsverluste (durch Druck- und/oder Temperaturverluste) können die Effizienz eines Lüftungssystems erheblich beeinträchtigen und müssen in der Planung berücksichtigt werden. Ebenso müssen die Regelkreise für Heizung und Lüftung (zentral/dezentral/hybrid) der Flexibilität in den Raumnutzungen gerecht werden.

2B Heiz- und Kühlkreise in Abhängigkeit von Zonierung und Orientierung

Um einen möglichst effizienten Betrieb des Gebäudes zu gewährleisten, ist eine differenzierte Ansteuerung einzelner Bereiche unabdingbar. Die Unterteilung der Heiz- und Kühlkreise muss dabei sowohl in Abhängigkeit von der Zonierung der Nutzungszonen, z.B. ganztags- und halbtags genutzte Flächen (siehe 1B Thermische Trennung unterschiedlicher Nutzungszonen), als auch der Orientierung, z.B. Süd- vs. Nordausrichtung, erfolgen. Weiterführende Aspekte zur Regelungstechnik sind in Abschnitt 2.6 / Regelungstechnik und Monitoring zusammengefasst.

2B Flexibilität in der Regelungstechnik zur Abbildung flexibler Nutzungszonen

Während die Unterteilung der Heiz- und Kühlkreise die Zonierung des hydraulischen oder luftgeführten Systems abbildet, sollte die Gebäudetechnik so ausgeführt sein, dass die unterschiedlichen Zonen variabel angesteuert werden können. Die Regelung muss in Abhängigkeit von der Raumnutzung gesteuert werden können, um eine flexible Zusammenlegung von Flächen, eine unterschiedliche Belegung von Flächen sowie eine unterschiedliche Nutzung von Flächen zu ermöglichen. Bei massiven Bauwerken muss eine Vortemperierung der Räume durchgeführt werden. Das erfordert eine vorausgeplante Raumbelastung und damit ein Anmelden von Raumnutzungen bzw. Nutzungen nach Stundenplan. Siehe auch Abschnitt 2.5 ‚Nutzungszonen und Innenraumklima‘ und Abschnitt 2.6 ‚Regelungstechnik und Monitoring‘.

MASSNAHMENGRUPPE 2C: GEBÄUDETECHNIK / BAUKÖRPER

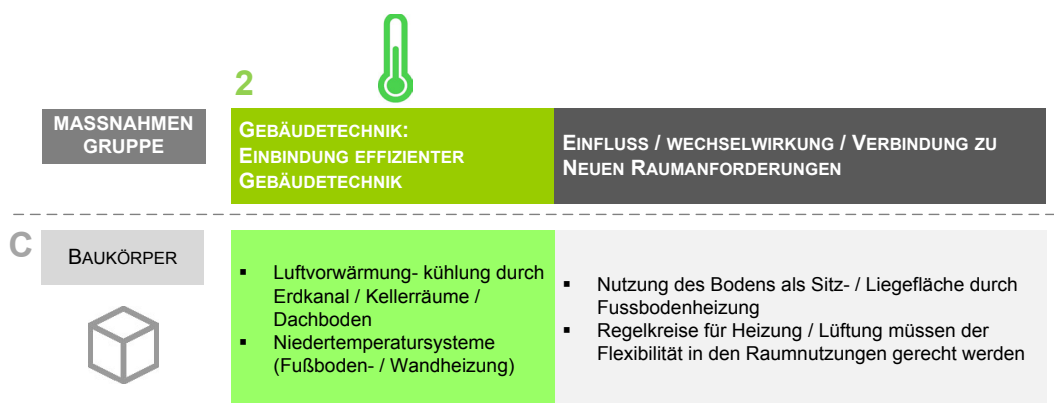


Abbildung 62: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2C Gebäudetechnik / Baukörper

2C Luftvorwärmung und Luftkühlung durch Erdkanal / Kellerräume / Dachboden

Eine weitere Steigerung der Effizienz der Lüftungsanlagen kann durch eine Vorkühlung- bzw. Vorwärmung der Außenluft über das Erdreich erfolgen. Dabei wird entweder durch das Erdreich, erdberührte Kellerräume oder Dachbodenräume Luft leitungsgeführt vorkonditioniert und dem mechanischen Lüftungssystem zugeführt. Die Vorkonditionierung ersetzt nicht die Wärmerückgewinnung, die mit einer hoch-effizienten Lüftungsanlage kombiniert werden muss. Aus ökonomischer Perspektive macht ein Erdkanal dann Sinn, wenn eine Verlegung in andere Umbau-Arbeiten integriert werden kann (z.B. wenn Erdarbeiten Auf Grund eines der Errichtung eines Spiel- oder Parkplatzes sowieso notwendig sind). Erdkanäle können aus Kanalrohren mit Querschnitten ab ca. 80cm und größer hergestellt werden. Diese Systeme sind nur in Klimazonen einsetzbar, die große Temperaturdifferenzen zwischen Tag/Nacht bzw. Sommer/Winter aufweisen. Das Erdreich bildet dabei die Speichermasse, die im Tagesverlauf bzw. saisonal ausgleichend wirkt. Mit den in Wien vorherrschenden Temperaturen können Erdreich und Keller für die Vorwärmung als auch für die Vorkühlung genutzt werden, wenn die Temperaturen im Erdreich im Winter bzw. Sommer jeweils über bzw. unter den Außentemperaturen liegen.

Dachbodenräume eignen sich, auf Grund der tendenziell höheren Temperaturen im Vergleich zur Außenluft in den warmen Monaten ausschließlich für die Vorwärmung im Winter - siehe auch Abschnitt 8.5 ‚Projektbeispiel 8‘, Volksschule Lind ob Velden in Kärnten, in der im Zuge der Sanierung auf Passivhaus-Standard eine Frischluftansaugung über einen Erdkollektor installiert wurde.

2C Niedertemperatursysteme (Fußboden- / Wandheizung)

Wird das Heizungssystem im Zuge der Sanierung erneuert, kann es in Abhängigkeit von der Energiebereitstellung sinnvoll sein, ein Niedertemperatursystem zu installieren. Dies hat über die Heizungstechnik hinausgehend, eine substantielle Adaptierung der Fußboden bzw. Wandflächen zur Folge, da kleinflächige hoch-temperierte Systeme (z.B. alte

Heizungs-Radiatoren) durch großflächige nieder-temperierte Systeme ersetzt werden müssen. Eine Fußbodenheizung erlaubt damit auch Synergien in der Raumnutzung, da der Boden als Sitz- und Liegefläche genutzt werden kann. Bei Wandheizungen ist zu beachten, dass die Wände nicht in hohem Maße verstellt werden und keine Bohrungen in den Wänden im Bereich der Heizung erfolgen dürfen. Die Regelkreise für Heizung/Lüftung müssen jedenfalls der Flexibilität in den Raumnutzungen gerecht werden.

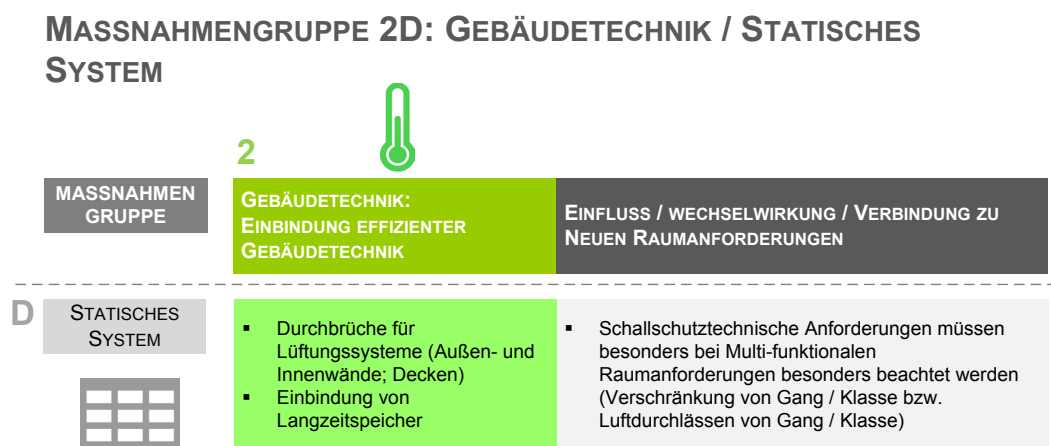


Abbildung 63: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2D Gebäudetechnik / Statisches System

2D Durchbrüche für Lüftungssysteme (Außen- und Innenwände; Decken)

Bei Durchbrüchen für Lüftungssysteme müssen schallschutztechnische Anforderungen berücksichtigt werden. Besonders bei multifunktionalen Raumanforderungen wie bei der Verschränkung von Gang zu einer Klasse bzw. von Luftdurchlässen zwischen Gang und Klasse müssen akustische Maßnahmen (Schallschutz-Klappen, akustische Trennung in der Leitungsführung) vorgesehen werden.

2D Einbindung von Langzeitspeicher

Langzeitspeicher speichern saisonal thermische Energie und sind in der Regel Großspeicher. Sie werden z.B. in Kombination mit solarthermischen Kollektoren für Heizsysteme angewendet. Solarthermie-Erträge sind in mitteleuropäischen Breitengraden am höchsten, wenn die geringste Heizlast benötigt wird. Ein saisonaler Speicher kann diese Erträge langfristig speichern und im Winter, wenn der Heizenergiebedarf am höchsten ist, abgeben. Bei Langzeitspeichern sind vor allem die Dämmung und die Schichtung innerhalb des Speichers von besonderer Relevanz. Eine adäquate Auslegung der Geometrie (Form, Höhe, Breite, Volumen) sowie der Ein- und Auslässe ist kritisch für eine effiziente Nutzung des Speichers als saisonale Wärmequelle.

Sofern die Speicher nicht freistehend, sondern in die Gebäudestruktur eingebunden sind, müssen entsprechende statische Maßnahmen in der Planung berücksichtigt werden.

EINZELMAßNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG: SCHRITT 3, ERNEUERBARE ENERGIEN

Die Maßnahmengruppe 3 beschreibt mit den **erneuerbaren Energien** die Einzelmaßnahmen des 3. Schritts der Methodik zur Erstellung von Energiekonzepten. Die erneuerbaren Energien sind ebenso wie die passiven und gebäudetechnischen Maßnahmen in die vier Themenbereiche 3A Fassaden/Hüllflächen (Abbildung 64), 3B Grundriss (Abbildung 65), 3C Baukörper (Abbildung 66) und 3D Statisches System (Abbildung 67) unterteilt. Die Wechselwirkung zu neuen Raumanforderungen bildet auch in dieser Maßnahmengruppe einen Schwerpunkt.

MASSNAHMENGRUPPE 3A: ERNEUERBARE ENERGIEN / FASSADEN UND HÜLLFLÄCHEN

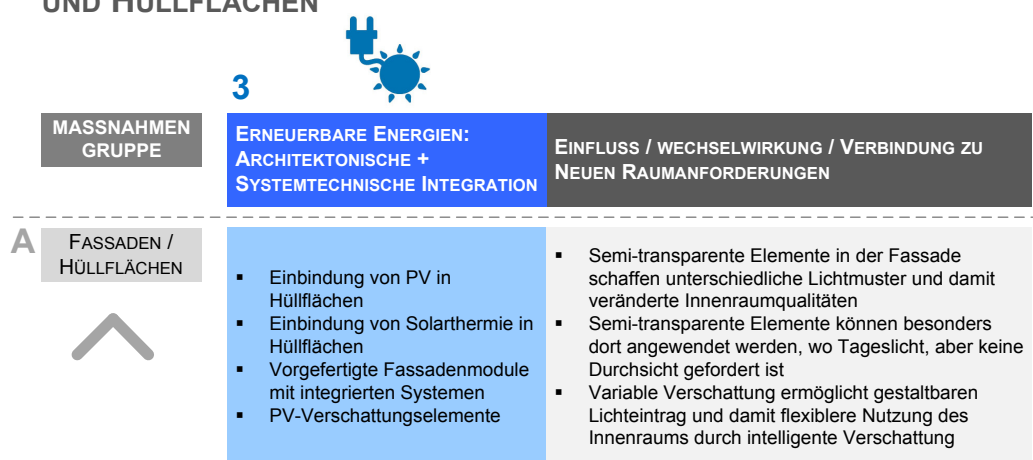


Abbildung 64: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3A Erneuerbare Energien / Fassaden und Hüllflächen

3A Einbindung von PV in Hüllflächen

Photovoltaik-Elemente lassen sich auf Grund ihrer unterschiedlichen Anwendungsbereiche und Gestaltungsmöglichkeiten gut in Sanierungsprojekte integrieren. Semi-transparente Elemente in der Fassade schaffen unterschiedliche Lichtmuster und damit veränderte Innenraumqualitäten. Die Entwicklung von Dünnschicht- und Nano-Materialien im Bereich der PV bringt eine Vielzahl an Produkten auf den Markt, mit denen auf Grund ihrer vielfältigen Farbgestaltung und Transparenz neue architektonische Akzente gesetzt werden können.

Diese können besonders dort angewendet werden, wo Tageslicht, aber keine Durchsicht gefordert ist. Damit kommen sie für Fensterelemente im Nicht-Sichtbereich (über oder unter dem transparenten Fenster) genauso in Frage wie für Sonderbereiche wie z.B. Bibliotheken, Pausenflächen, Atrien oder überdachte Innenhöfe - siehe Abschnitt 2.6 ‚Photovoltaik‘, sowie 1A Vorgefertigte Fassadenmodule, 1C Überdachung von Innenhöfen und 3A Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen.

3A Einbindung von Solarthermie in Hüllflächen

Anders als PV weisen solarthermische Elemente weniger Gestaltungsfreiräume auf. Solarthermie kann entweder auf die Gebäudeoberfläche (Dach, Fassade) appliziert oder in die Hüllflächen integriert werden - siehe Abschnitt 2.6 ‚Solarthermie‘ sowie 1A Vorgefertigte Fassadenmodule und 3A Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen.

3A Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen

In vorgefertigten Fassadenmodulen, die im Sanierungsfall auf die bestehende Fassade als Element aufgebracht werden, können aktive Systeme, wie z.B. Photovoltaik-Paneele, solarthermische Paneele oder Lüftungssysteme in die Fassade miteingebaut werden - siehe dazu 1A Vorgefertigte Fassadenmodule, 2A Gestaltung der Lüftungselemente in der Fassade, 3A Einbindung von PV in Hüllflächen und 3A Einbindung von Solarthermie in Hüllflächen. Am Beispiel der Uhlandschule (Projektbeispiel 16: Uhlandschule Grund und Hauptschule mit Werkrealschule) wird demonstriert, wie die multifunktionale Lösung von Gebäudetechnik in der Fassade umgesetzt werden kann.

3A PV-Verschattungselemente

Verschattungselemente aus Photovoltaik lassen sich relativ flexibel in verschiedene Anwendungsfälle integrieren. Sie können bei vertikalen Fensterelementen als bewegliche Elemente oder fixe Elemente und als Teil der Verglasung angebracht werden. Variable Verschattung ermöglicht gestaltbaren Lichteintrag und damit flexiblere Nutzung des Innenraums durch intelligente Verschattung. Wo keine permanente Durchsicht gefordert ist - wie z.B. in horizontalen Verglasungen bei Überdachung von Atrien oder Innenhöfen - können PV-Verschattungselemente bzw. semi-transparente PV-Elemente zur Anwendung kommen – siehe Abschnitt 2.3 ‚Licht‘, Abschnitt 2.6 ‚Photovoltaik‘, sowie 1C Überdachung von Innenhöfen und 3C Nutzung von transparenten Überdachungen (Innenhof) für PV (Schließung des Baukörpers).

MASSNAHMENGRUPPE 3B: ERNEUERBARE ENERGIEN / GRUNDRISS

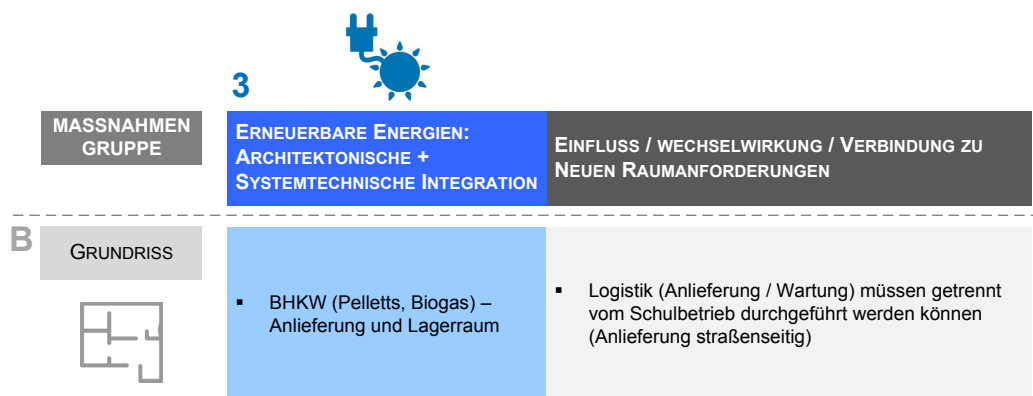


Abbildung 65: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3B Erneuerbare Energien / Grundrisse

3B BHKW (Pelletts, Biogas) – Anlieferung und Lagerraum

Die Einbindung erneuerbarer Energiesysteme hat wenig direkte Auswirkung auf den Grundriss. Die einzige Ausnahme bildet ein BHKW, das nicht über die urbane Infrastruktur (Gas), sondern über Anlieferung (Pelletts, Biomasse, Biogas) versorgt werden muss. In diesem Fall ist ein adäquater Raum neben dem Haustechnikbereich vorzusehen, der die benötigte Rohstoffmenge für eine Grundversorgung von zumindest einem Quartal aufnehmen kann. Der Raum sollte straßenseitig zugänglich sein bzw. über einen Innenhof erfolgen, der eine Anlieferung mit einem Lastkraftwagen zulässt.

MASSNAHMENGRUPPE 3C: ERNEUERBARE ENERGIEN / BAUKÖRPER

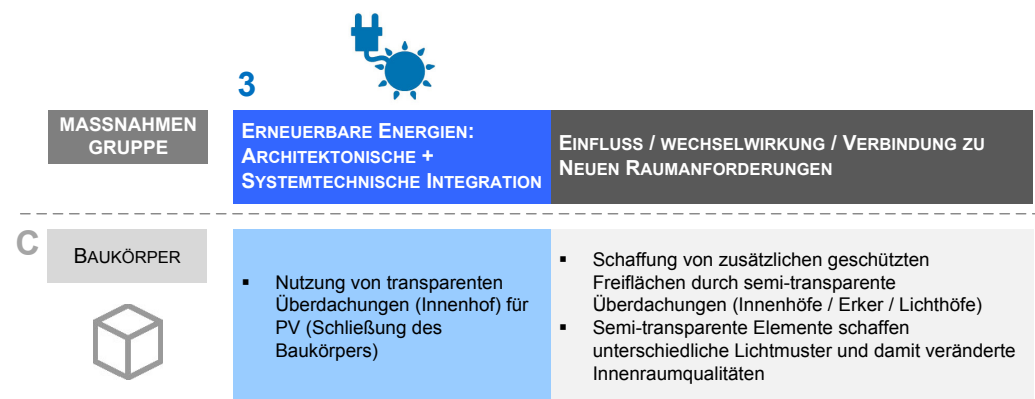


Abbildung 66: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3C Erneuerbare Energien / Baukörper

3C Nutzung von transparenten Überdachungen (Innenhof) für PV (Schließung des Baukörpers)

PV-Elemente können als semi-transparente oder opake Verschattung in horizontale Verglasungen integriert werden, um eine effiziente Verschattung bei gleichzeitiger Energiebereitstellung durch PV-Module zu erreichen. Dünnschicht-Photovoltaik-Elemente können auch auf Membran-Systeme aufgebracht werden. Damit können größere, leichtgewichtige und hoch-transparente Überdachungen wie ETFE¹⁶⁰ mit PV-Elemente als Verschattung umgesetzt werden¹⁶¹.

Eine teilweise Überdachung von Schulhöfen ermöglicht eine von der Witterung unabhängige Nutzung der Pausenflächen und Entlastung der Erschließungsflächen zugunsten einer optimierten Clusterbildung der Klassenräume. Semi-transparente Elemente schaffen zudem unterschiedliche Lichtmuster und damit veränderte Innenraumqualitäten - siehe Abschnitt 2.6 ‚Photovoltaik‘ sowie 1C Überdachung von Innenhöfen, 3A Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen und 3A Einbindung von PV in Hüllflächen.

¹⁶⁰ ETFE = Ethylen-Tetrafluorethylen; Kunststoff mit geringem Gewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit; wird in der Architektur zumeist in Membrankonstruktionen (z.B. für großflächige Überdachungen) eingesetzt

¹⁶¹ <http://www.detail-online.com/architecture/topics/integration-of-photovoltaics-in-membrane-structures-007592.html> / Zugriff 08.02.2015

MASSNAHMENGRUPPE 3D: ERNEUERBARE ENERGIEN / STATISCHES SYSTEM

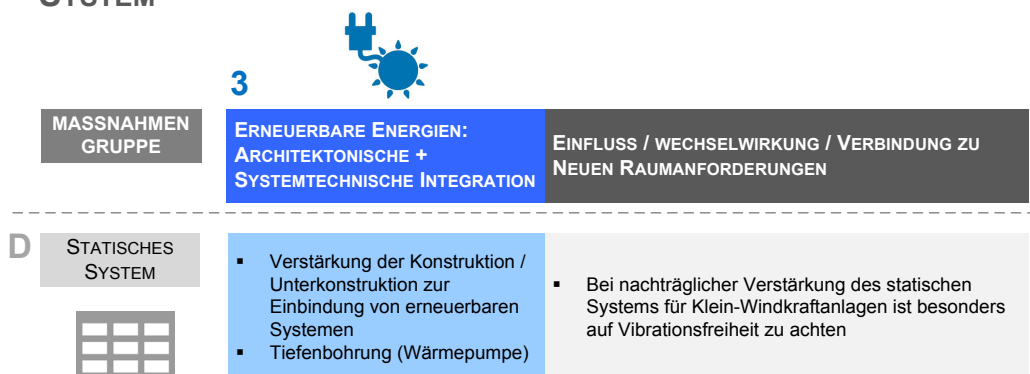


Abbildung 67: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3D Erneuerbare Energien / Statisches System

3D Verstärkung der Konstruktion / Unterkonstruktion zur Einbindung von erneuerbaren Systemen

Bei der nachträglichen Applikation oder Integration von erneuerbaren Energiesystemen muss in der Bestandsanalyse überprüft werden, ob die statischen Gegebenheiten den Anforderungen der neuen Systeme standhalten. Sanierungsmaßnahmen können sich auf eine Verstärkung der bestehenden Primär- oder Sekundärstruktur beziehen oder durch zusätzliche Konstruktionen, wie z.B. vorgefertigte Fassadenmodule, abgedeckt werden. Bei Dachkonstruktionen und hier vor allem bei Gründerzeitgebäuden sind in den meisten Fällen zusätzliche statische Vorkehrungen zu treffen, wenn die Dachlast (z.B. durch PV- oder Solarthermie-Elemente) erhöht wird.

Bei der Integration von Windturbinen in das Gebäude müssen sowohl die Last als auch die durch die Turbine hervorgerufenen Vibrationen aufgefangen werden. Hier muss in einer wirtschaftlichen Betrachtung die Aufwendungen für die Sanierung dem Ertrag gegenübergestellt werden - siehe Abschnitt 2.6 ‚Kleinwindkraftanlagen‘.

3D Tiefenbohrung (Wärmepumpe)

Nachträglich durchgeführte Tiefenbohrungen sind ebenso einer statischen Prüfung zu unterziehen, wenn die Struktur des Gebäudes kompromittiert wird. Bieten sich Freiflächen (Pausenhof, Sportplatz) an, so ist dies jedenfalls einer Bohrung im Gebäudebereich vorzuziehen. Im Vorfeld ist jedenfalls eine Analyse des Energiebereitstellungspotentials durchzuführen, um eine Abschätzung des Ertrags zu berechnen - siehe Abschnitt 2.6 ‚Erneuerbare Energietechnologien‘.

BEGLEITMAßNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG: SCHRITT 4

Die Maßnahmengruppe 4 bildet die **Begleitmaßnahmen** in der Schulsanierung ab, die sich über die gesamte Planungs-, Bau- und Betriebsphase erstrecken. Die Themenbereiche in Schritt 4 sind in 4I Stakeholder (Abbildung 68), 4II bewusstseinsbildende Maßnahmen (Abbildung 69), 4III Finanzierung (Abbildung 70) und 4IV Möblierung (Abbildung 71) unterteilt.



Abbildung 68: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 I: Begleitmaßnahmen / Stakeholder

4I Einbindung der Stakeholder

„...*Beteiligung an der Planung erhöht die Identifikation mit dem Gebäude und trägt dazu bei, dessen Ressourcen optimal auszuschöpfen. Vor allem bei der Sanierung und Erweiterung bestehender Schulgebäude bietet sich die Chance für Partizipationsprozesse, da die NutzerInnen bereits feststehen...*“ (Haselsteiner, et al. 2010)

Die Einbindung der Stakeholder (Schüler, Eltern, Pädagogen, Magistrate) sollte im Vorfeld eines Planungsprozesses vor allem in der Konzeptentwicklung erfolgen. Bei einer Sanierung können substantielle Veränderungen in den gewohnten Lernräumen der Schüler und Lehrer entstehen. Auch wenn eine Substanzerhaltung oder bauliche Adaptierungen zumeist objektive Verbesserungen beinhalten, müssen sich subjektiv die Nutzer von ‚Altem‘ verabschieden und ‚Neues‘ annehmen. Aus Sicht des Architekten sollte eine derartige Auseinandersetzung und Nutzereinbindung nicht als ein Hineindrängen in den Architekturprozess, sondern als kreativer und wertvoller Beitrag gesehen werden. Schließlich sind die Schüler und Pädagogen Experten für das Leben, das sie in ihrer Schule verbringen (Bartels 2009). Wichtig ist jedenfalls, dass jegliche Partizipationsprozesse professionell vorbereitet und moderiert werden, um nachhaltige Ergebnisse zu produzieren. In Abhängigkeit von der Expertise und der Motivation der Beteiligten sollten die Stakeholder (z.B. Eltern und Pädagogen) auch bei der Entwicklung der bewusstseinsbildenden Maßnahmen, bei der Entwicklung von Visualisierungskonzepten und Finanzierungskonzepten eingebunden werden.

4I Begleitung der Stakeholder in der Bauphase

Eine langfristige Begleitung über den gesamten Planungs- und Bauprozess ist vor allem dann anzuraten, wenn die Sanierungsmaßnahmen während des laufenden Betriebs durchgeführt werden. Die Schule – und damit der Lern- und Arbeitsort für die Schüler und Pädagogen – wird damit zur Baustelle, was zu erheblichen Beeinträchtigungen im Tagesablauf führen kann. Lärm und Schmutz stellen zumeist die größte Herausforderung dar. Von den Nutzern ist darüber hinaus Flexibilität gefordert, da die Nutzung der allgemeinen Flächen während der Sanierung eingeschränkt sein kann.

Durch die Institutionalisierung einer kontinuierlichen Nutzereinbindung können allfällig auftretende Probleme rasch aufgegriffen und gelöst werden. Die Einbindung und die Information über den Baufortschritt können dabei durch unterschiedliche digitale Medien unterstützt werden.

MASSNAHMENGRUPPE 4II: BEWUSSTSEINSBILDUNG



Abbildung 69: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 II: Begleitmaßnahmen / Bewusstseinsbildung

4II Visualisierung des Energieverbrauchs (Tabellen / Grafiken / Bilder)

Visuell aufbereitete Informationen über den Energieverbrauch eines Gebäudes können das Nutzverhalten maßgeblich beeinflussen. In Schulgebäuden bewegen sich verschiedene Nutzergruppen räumlich und zeitlich verteilt und können durch ihr Verhalten einen positiven Beitrag zur Gesamtenergieeffizienz beitragen. Visualisierungen können in Abhängigkeit von der Altersklasse über individuelle digitale Medien (z.B. Applikationen auf digitalen Endgeräten) oder im und am Gebäude platzierte Informationsbereiche umgesetzt werden – siehe Abschnitt 2.6 ‚Regelungstechnik und Monitoring‘.

4II Visualisierung des Energieverbrauchs durch Kunst

Eine Alternative zu einem konventionellen Visualisierungskonzept über digitale Medien und Monitore (siehe oben) können spezifische Kunstprojekte sein, die mit kreativen

Ansätzen zielgruppenorientiert Informationen transportieren. So können z.B. haptische oder audio-visuelle Darstellungen einen spielerischen Ansatz beinhalten und die Nutzer aktiv einbinden. Werden im Zuge einer Sanierung Partizipationsprozesse durchgeführt (siehe 4I Einbindung der Stakeholder) können kreative Konzepte zur Darstellung von Energieverbrauch bzw. Energiegeneration von den Schülern und Pädagogen entwickelt werden. Derartige Umsetzungen tragen damit zur Identifikation der energierelevanten Maßnahmen bei.

4II Visualisierungen von Wechselwirkungen in Klassenräumen

Die Visualisierung von spezifischen Messwerten kann auch dazu genutzt werden, gezielt das Nutzverhalten für bestimmte Maßnahmen zu beeinflussen. So kann z.B. ein in den Klassen angebrachtes Ampelsystem anzeigen, wann die Fenster geöffnet werden sollen. Die dahinterliegenden Messdaten analysieren z.B. den CO₂ Gehalt der Innenluft sowie Innen- und Außentemperatur und geben den idealen Zeitpunkt und die Länge der natürlichen Belüftung an. Wird ein hybrides Lüftungssystem verwendet, so kann z.B. bei Fensteröffnung angezeigt werden, dass die mechanische Lüftung ausgeschaltet wird - siehe auch Abschnitt 2.6 ‚Lüftungssysteme‘.

Wichtig ist bei der Implementierung derartiger Systeme die gezielte Schulung der Nutzer. Die Visualisierungen können z.B. auch für Schulprojekte genutzt werden, um das Thema Energieeffizienz in den Unterricht zu bringen. Schüler können in diesem Fall selbst analysieren, welchen Einfluss ihr Verhalten im Gebäude auf den Energieverbrauch hat.

4II Energiesparmotivation durch Boni für Schüler und Lehrer

Energiesparen sollte sich in reduzierten Energiekosten widerspiegeln. Die Motivation kann aber auch in anderen Bereichen gefunden werden. So kann z.B. ein ‚Energiespartag‘ als Exkursion eingeführt werden, wenn die gesamte Schule gewisse Zielwerte in Heizwärmeverbrauch oder Stromverbrauch erreicht. Die schulautonomen Tage können so mit einem besonderen Ziel verfolgt werden. Eingesparte Kosten können für zusätzliche Finanzierungen von z.B. externen Veranstaltungen genutzt werden, für die sonst kein Budget vorgesehen wäre.

4II Alternative Energiegewinnung durch Demonstrationsprojekte

Schulen eignen sich durch ihren öffentlichen Auftrag und ihre Sichtbarkeit besonders gut für Demonstrationsprojekte. Alternative Energiegewinnung kann z.B. mit piezoelektrischen¹⁶² Böden umgesetzt werden. Dabei werden spezielle Folien unter dem Boden angebracht, die durch Druck Strom erzeugen. Die Schüler tragen damit aktiv durch ihre Bewegung zur Energiegewinnung bei. Die so gewonnene Energie kann z.B. durch spezifische Visualisierungen sichtbar gemacht werden (siehe 4II Visualisierung des

¹⁶² Der Piezo-Effekt beschreibt das Prinzip aus mechanischem Druck elektrische Energie zu gewinnen ; Siehe *Nutzung des piezoelektrischen Effekts von PVDF-Folie*; TU München; Fachgebiet Mikrostrukturierte Mechatronische Systeme ; www.mms.ei.tum.de/ Zugriff 23.02.2015

Energieverbrauchs durch Kunst). Demonstrationsprojekte können durch Industriekooperationen finanziert werden, wenn der Hersteller ein Interesse an Pilotprojekten hat. Produkte dieser Art eignen sich noch nicht zur großflächigen Energiegewinnung, tragen aber durch ihren spielerischen Charakter zur Bewusstseinsbildung bei Schülern und Pädagogen bei.

MASSNAHMENGRUPPE 4III: FINANZIERUNG

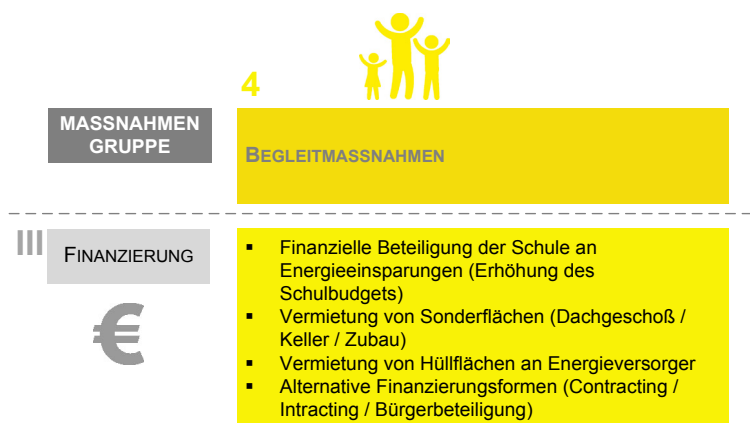


Abbildung 70: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 III: Begleitmaßnahmen / Finanzierung

4III Finanzielle Beteiligung der Schule an Energieeinsparungen

Anreizsysteme, die das Nutzerverhalten beeinflussen, können bei Schulen messbare Einsparungen im Energieverbrauch generieren. Wird die Schule finanziell an den eingesparten Energiekosten beteiligt, können diese Mittel z.B. zweckgebunden in neue Projekte oder Investitionen im Bereich Klimaschutz fließen - siehe Abschnitt 2.2 , Politische und institutionelle Rahmenbedingungen / Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme / Anreizsysteme'.

4III Vermietung von Sonderflächen (Dachgeschoß / Keller / Zubau)

Eine außerschulische Vermietung von Sonderflächen kann eine wirtschaftlich sinnvolle Zusatzfinanzierung für eine Schule darstellen. Ein Dachbodenausbau oder die Nutzbarmachung von Kellerräumen in Aufenthaltsräume können für diese Zwecke gewidmet werden. Dieses Modell sollte nur in Frage kommen, wenn ein räumliches Erweiterungspotential der Schule kurz- bis mittelfristig nicht benötigt wird. In einer langfristigen Entwicklung ist die Vermietung durchaus in Betracht zu ziehen, da Mietverträge mit externen Nutzern auf eine befristete Zeit abgeschlossen werden können. Die Vermietung von Turnsälen und Sportflächen zählt in diesem Kontext nicht zu den vermietbaren Sonderflächen, da diese über das Sportamt (MA 51)¹⁶³ geregelt wird. Turnsäle werden dabei in jedem Schuljahr an polizeilich gemeldete, gemeinnützige Vereine gegen einen definierten Unkostenbeitrag vergeben.

¹⁶³ www.wien.gv.at/amtshelfer/freizeit-sport/sportamt/anlagen/turnsaal.html / Zugriff 24.02.2015

4III Vermietung von Hüllflächen an Energieversorger

Die Einbindung erneuerbarer Energiesysteme hat in öffentlichen Gebäuden eine hohe Vorbildwirkung. Schulbauten sind dabei sowohl durch die hohen Besucherzahlen (Schüler, Pädagogen, Eltern, Betreuer) als auch durch den Lerneffekt (die Schule leistet einen positiven Beitrag zum Klimaschutz) besonders geeignet. Im Rahmen einer Sanierung können erneuerbare Energiesysteme als Teil des Gesamtenergiekonzepts umgesetzt werden. Eine Finanzierung aus den Mitteln der Substanzerhaltung ist dabei jedoch selten vorgesehen. Eine Vermietung der Hüllflächen (Dach, Fassade) an Energieversorger zur Integration von PV in Form von Contracting oder anderen Finanzierungsformen kann eine sinnvolle Maßnahme darstellen, um notwendige Investitionskosten abzudecken - siehe dazu auch 4III Alternative Finanzierungsformen und Abschnitt 2.2 ‚Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme‘.

4III Alternative Finanzierungsformen

Budgetäre Unterstützungen helfen, ganzheitliche Schulsanierungen zu ermöglichen. Am Beispiel Wien wird durch das Schulsanierungspaket (siehe Abschnitt 2.2 / Schulsanierungspaket der Stadt Wien) die Substanzerhaltung finanziert. Maßnahmen, die räumlich / organisatorische oder energietechnische Veränderungen bewirken, gehen über die Grundfinanzierung hinaus. Alternative Finanzierungsformen können damit fehlende Investitionskosten abdecken.

Für die Schulsanierung kommen prinzipiell unterschiedliche Formen der Finanzierung zur Anwendung. Darunter fallen Public Private Partnerships (PPPs), Contracting, Intracting, Bürgerbeteiligungsmodelle / Bürgercontracting, Dachvermietung / Dachüberlassung / Dachgeschoßausbau, Domestic Offset Projects (DOPs), Finanzierung durch Fördermittel und Anreizsysteme. Eine Beschreibung der einzelnen Finanzierungsmodelle ist in Abschnitt 2.2 / Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme zu finden.

MASSNAHMENGRUPPE 4IV: MÖBLIERUNG

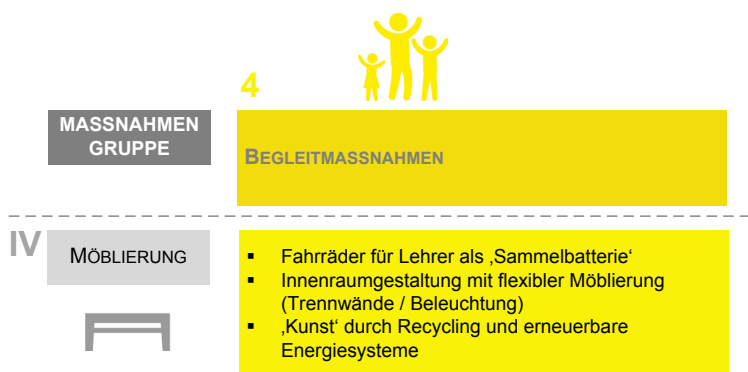


Abbildung 71: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 IV: Möblierung

4IV Fahrräder für Lehrer

Der Vorteil von Fahrrädern gegenüber anderen Formen des Individualverkehrs ist neben der CO₂-Bilanz der deutlich reduzierte Platzbedarf. Um einen Anreiz für die Nutzung von (Elektro)Fahrrädern in den täglichen Arbeitswegen der in den Schulen beschäftigten Personen zu schaffen, können Bike-Sharing-Konzepte umgesetzt werden. Die Schule kann dazu den Standort für andere, bereits etablierte Anbieter zur Verfügung stellen und somit von den Strukturen eines professionellen Betreibers profitieren. Anschaffungskosten sowie Wartungs- und Betriebskosten können damit ausgelagert werden. E-Bikes können darüber hinaus auch als Puffer für die Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung durch PV genutzt werden und eine Doppelfunktion erfüllen.

4IV Innenraumgestaltung mit flexibler Möblierung (Trennwände / Beleuchtung)

Eine Innenraumgestaltung, die auf unterschiedliche Raumbedürfnisse adaptierbar und erweiterbar ist ermöglicht neue Raumkonzepte. Besonders bei räumlichen Bedingungen, die nur schwer im Rahmen einer Sanierung an die Anforderungen neuer pädagogischer Konzepte angepasst werden können, sind flexible Möblierungen ein adäquates Mittel. Mobile Trennwände, die unterschiedliche Raumgrößen und -formen zulassen, sind ebenso wie eine Beleuchtung, die sich den Nutzungsbedingungen adaptiv anpassen kann, eine sinnvolle Ergänzung. In Abbildung 72 sind exemplarisch für einen typischen Klassenraum Möblierungsvarianten, die durch flexible Tisch- und Sesselkombinationen umgesetzt werden können, dargestellt - siehe dazu Ausführungen in 2.3 ‚Räumliche und organisatorische Anforderungen‘.

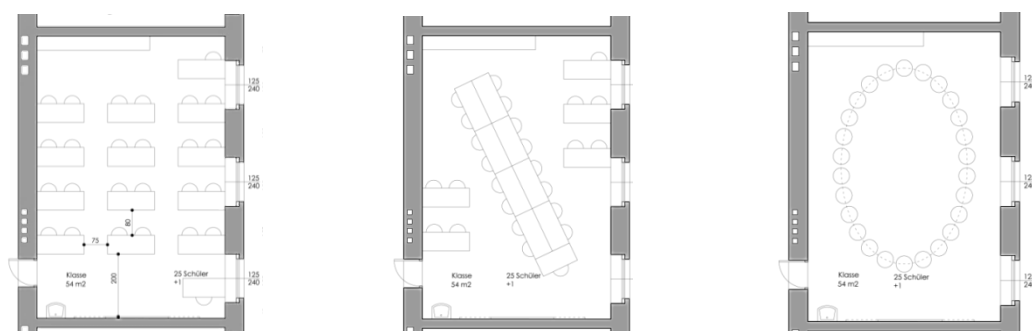


Abbildung 72: Möblierungsvarianten eines exemplarischen Klassenzimmers am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012)

4IV ‚Kunst‘ durch Recycling und erneuerbare Energiesysteme

Bewusstseinsbildende Maßnahmen können auch in Form von spezifischen Kunst- oder Kulturprojekten von den Schülern umgesetzt werden. Dafür eignen sich unterschiedliche didaktische Konzepte, in denen Müllvermeidung, Mülltrennung und alternative Energiegewinnung ganzheitlich betrachtet werden - siehe 4II Visualisierung des Energieverbrauchs durch Kunst und 4II Alternative Energiegewinnung durch Demonstrationsprojekte.

3.5. Bewertung der Sanierungskonzepte

Basierend auf den in 3.2 entwickelten Zielen sollten die Sanierungsmaßnahmen - dem modularen Aufbau der Einzelmaßnahmen folgend - in Konzeptbündeln dargestellt werden. Um einen unterschiedlichen Innovationsgrad abzubilden, kann die Bündelung der Maßnahmen in einer Kategorie der **Standard-Sanierung**, **Standard Plus-Sanierung** oder **innovative Sanierung** abgebildet werden. Dazu sind in Kapitel 8 / Annex 8.4. Listen zur Auswahl von unterschiedlichen Konzeptbündeln dargestellt.

Sind zwei oder mehr Maßnahmenbündel definiert, so können diese qualitativ und quantitativ bewertet werden. Die qualitative Bewertung in Bezug zu Architektur, Raumnutzung und Materialien (siehe Abschnitt 3.2 ‚Zielbild‘, Tabelle 29) sollte durch Einbindung des Planungsteams bzw. der relevanten Stakeholder erfolgen. Um die qualitative Analyse zu unterstützen und fakten-basierte Szenarien in den Entscheidungsprozess einzubinden, sollte jedenfalls auch eine quantitative Bewertung der Maßnahmenbündel erfolgen. Die quantitative Bewertung zu Energie und Lebenszykluskosten sollte dem Planungsteam als grundlegende Entscheidungshilfe dienen.

Im Folgenden werden die beiden quantitativen Bewertungen – **energetische Bewertung** und **Bewertung der Lebenszykluskosten** - die im Rahmen der entwickelten Methodik zur Anwendung kommen, beschrieben.

ENERGETISCHE BEWERTUNG

Die energetische Bewertung der Sanierungskonzepte sollte durch ein thermisch-dynamisches Simulationsprogramm durchgeführt und entsprechend ausgewertet werden. Eine Übersicht und Bewertung von Simulationsprogrammen im Gebäudebereich findet sich in einer Studie zu ‚*Contrasting the capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*‘ in (Crawley, et al. 2008).

Das in Kapitel 4 dargestellte Beispiel wurde durch thermisch-dynamische Simulationen in der Simulationsumgebung Trnsys 17 durchgeführt. Trnsys (TRaNsient SYstems Simulation) ist ein Werkzeug zur Simulation von Anlagen und Gebäuden, welches 1975 an der Universität von Wisconsin entwickelt wurde. Das Programm ist modular aufgebaut und kann eine Vielzahl an Komponenten aus dem Gebäude- und Haustechnikbereich in einem Mehrzonen-Modell dynamisch simulieren. Die Software wird kontinuierlich weiterentwickelt und hat sich als eines der Standardwerkzeuge im Bereich der Energiekonzeptentwicklung und Bewertung etabliert.¹⁶⁴

Ausgehend von den Bestandsdaten, die sich aus den Energiekennzahlen, einer Bestandsaufnahme vor Ort sowie Bestandsplänen zusammensetzt (siehe auch Abschnitt 3.1), kann in der Simulationsumgebung Trnsys ein Modell erstellt werden, welches den Ist-Zustand des Gebäudes widerspiegelt. Darauf aufbauend werden verschiedene Varianten simuliert, um Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel abzubilden, die den Zielen des

¹⁶⁴ www.transsolar.com / Zugriff 06.01.2014

Projekts entsprechen. Programme dieser Art unterstützen bei der Entscheidungsfindung und bei der detaillierten Analyse spezifischer Fragestellungen, können jedoch nicht den Experten ersetzen, der relevante Szenarien entwirft und bewertet.

Kritische Bereiche in der Gebäudehülle, die sich nicht in einem der oben angeführten Programme berechnen lassen, müssen mit bauphysikalischen Simulationen abgedeckt werden. Im folgenden Beispiel erfolgt die Simulation kritischer Bereiche durch die Simulationsprogramme GEBA¹⁶⁵ und AnTherm¹⁶⁶.

BEWERTUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN

In der Entwicklung von Energiekonzepten ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise, wie sie auch in der Berechnung der Lebenszykluskosten angewendet wird, notwendig. Vor allem in der Sanierung müssen Überlegungen hinsichtlich Ressourcen und Effizienz in die Planung einfließen. Maßnahmen, die auf die Erhaltung einzelner Bauteile und Komponenten abzielen, müssen dabei dem vollständigen Ersatz gegenübergestellt werden. Vor allem im Hinblick auf hoch-effiziente Gebäude ist eine Verschiebung der Energiebilanz über den gesamten Lebenszyklus weg vom operativen und hin zur Errichtung bzw. Abbruch des Gebäudes feststellbar. Diese Betrachtungen fließen in erster Linie in die Lebenszykluskostenanalysen ein, da sie einen erheblichen Einfluss auf die gesamte ökonomische Bilanz des Gebäudes haben.

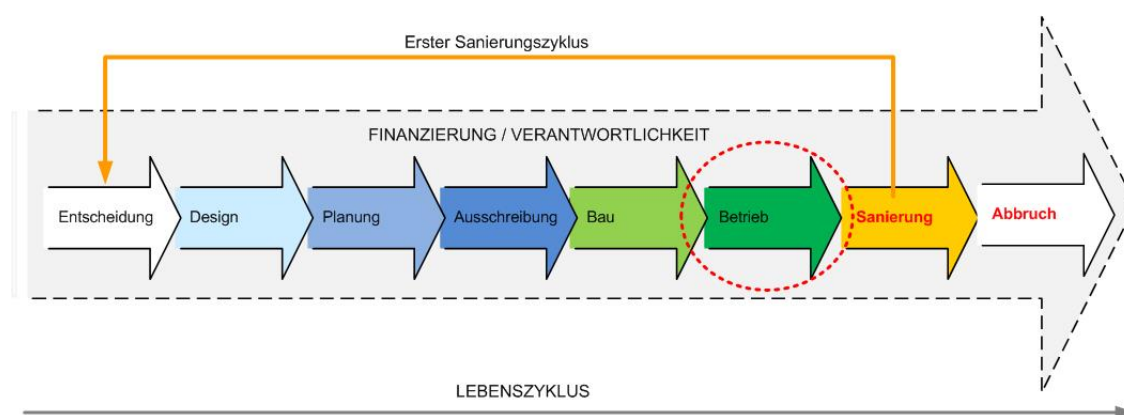


Abbildung 73: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes

Hofer et. al. argumentieren in ihrem Forschungsbericht ‚Ganzheitliche ökologische und energetische Sanierung von Dienstleistungsgebäuden‘ (Hofer, et al. 2006), dass die gängige Praxis bei Sanierungen von „...vielfach Erprobtes und Bewährtes...“ geprägt ist und nur mit einem ganzheitlichen Planungsansatz auch energetische und bauökologische Aspekte miteinbezogen werden können. Ziel sollte es sein, durch eine Mit-Betrachtung der Folgekosten (d.h. der gesamten Lebenszykluskosten) bei der Gebäudeplanung eine

¹⁶⁵ Programmpaket zur Simulation des thermischen Verhaltens von Räumen, Raumgruppen und Gebäuden im periodisch eingeschwungenen Zustand, insbesondere für normgemäße Sommertauglichkeitsuntersuchungen (z. B. gemäß EN ISO 13791 oder ÖNorm B8110-3) und für dynamische Heiz- und Kühllastberechnungen; nach www.krec.at / Zugriff 10.09.2014

¹⁶⁶ Programmpaket zur zwei- und dreidimensionalen, stationären und instationären Wärmebrückensimulation; nach www.krec.at / Zugriff 11.09.2014

Kostenoptimierung zu ermöglichen. Eine umfassende Lebenszykluskostenanalyse stellt den Ressourcen und Energieverbrauch des Gebäudes während des gesamten Lebenszyklus dar und soll als Unterstützung bei der Entscheidungsfindung zu verschiedenen Ausführungsvarianten von Gebäude und Gebäudeteilen dienen (Hofer, et al. 2006). Je älter das Gebäude, desto mehr fallen Betriebs- und Erhaltungskosten ins Gewicht: in einem 100 Jahre alten Gebäude machen die Erhaltungskosten 80-85% und die Investitionskosten zur Errichtung des Gebäudes nur 15-20% der Gesamtkosten im Lebenszyklus aus (AEA 2005).

Das Energiekonzept zielt vorrangig auf die Phase des Betriebs des Gebäudes ab, das heißt dem operativen Aspekt aus dem Lebenszyklus eines Gebäudes. Der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes ist in Abbildung 73 dargestellt. Es wird auch ersichtlich, dass eine Sanierung wiederum am Beginn des Entscheidungs- bzw. Planungsprozesses ansetzt.

Die Energiekennzahlen zur Berechnung der Gesamtenergiebilanz werden aus simulierten oder gemessenen Zahlen während des Betriebs berechnet. D.h. Energie, die z.B. für den Transport, die Errichtung und die Entsorgung des Gebäudes oder der im Gebäude verwendeten Materialien¹⁶⁷ aufgewendet wird, wird nicht berücksichtigt.

¹⁶⁷ Herstellung, Lagerung, Transport, Entsorgung eines Produkts oder Materials wird als ‚graue Energie‘ oder ‚*embodied energy*‘ bezeichnet.

4. Beispiel

In Kapitel 4 wird aufbauend auf der in Kapitel 3 beschriebenen Methodik ein konkreter Anwendungsfall analysiert und bewertet. Das dargestellte Beispiel wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ‚SchulRen+¹⁶⁸ / Innovative Konzepte für Schulsanierungen auf Plus Energie Niveau‘ entworfen. Die Franz Jonas Europaschule im 21. Wiener Bezirk - eine auf Grund ihres Baualters und ihrer Baustruktur typische Wiener Gründerzeitschule - wurde repräsentativ für einen Großteil des Wiener Schulgebäudebestands ausgewählt.

Das Beispiel folgt der Logik der in Kapitel 3 entwickelten Methodik. Der erste Schritt der Analyse des Bauwerks ist in **Abschnitt 4.1, Gebäudeanalyse Beispiel** beschrieben und umreißt Baualter und Kontext, Baustruktur und die wesentlichen energierelevanten Parameter. In **Abschnitt 4.2, Zielbild Beispiel** sind die Anforderungen seitens der involvierten Stakeholder an das Sanierungsprojekt definiert. **Abschnitt 4.3** beschreibt die unterschiedlichen Sanierungskonzepte, die im Rahmen des Projekts entwickelt wurden (**Sanierungskonzepte Beispiel**). Die **Bewertung der Sanierungskonzepte Beispiel in Abschnitt 4.4** beinhaltet die wesentlichen Ergebnisse der energetischen Analyse und der Bewertung der Lebenszykluskosten.

4.1. Gebäudeanalyse Beispiel

Im nachfolgenden werden in einer eingehenden Gebäudeanalyse die für die Planung und Durchführung ganzheitlicher Sanierungskonzepte relevanten Aspekte beschrieben. Die Analyse folgt dabei in den wesentlichen Schritten den in Abschnitt 2.4 dargestellten Typologien und der in Abschnitt 3.1 definierten Methodik. Die Analyse gliedert sich in **Baualter und Kontext, Baustruktur und Energierelevante Parameter**.

BAUALTER UND KONTEXT

Die Franz Jonas Europaschule befindet sich im 21. Wiener Gemeindebezirk in der Deublergasse 19-21 im Norden von Wien – siehe dazu Standort im Stadtplan Wien in Abbildung 74.

Benannt wurde die Schule nach Franz Jonas, der von 1965 bis 1974 österreichischer Bundespräsident war und davor auch die Ämter des Bezirksvorstehers von Floridsdorf (1946-1948), amtsführenden Stadtrats (1948-1951) und Bürgermeisters von Wien (1951-1965) innehatte¹⁶⁹. Die Bezeichnung ‚Europaschule‘ wurde nach dem EU-Beitritt Österreichs populär und ist ein rechtlich zugelassener Namen zur ‚näheren Standortbezeichnung‘¹⁷⁰, der aber keine Aussage über die pädagogische Ausrichtung der Schule zuzuschreiben ist.

¹⁶⁸ ‚SchulRen+ / Innovative Konzepte für Schulsanierungen auf Plus Energie Niveau‘; Projekt Nummer 827183; das Projekt ist Teil der Ausschreibung ‚Haus der Zukunft Plus‘ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

¹⁶⁹ www.wien.gv.at/wiki/index.php/Franz-Jonas-Schule / Zugriff 14.03.2015

¹⁷⁰ www.wikipedia.org/wiki/Europaschule / Zugriff 14.03.2015

Die Schule war ursprünglich eine Hauptschule und wurde im Rahmen der Änderungen im österreichischen Regelschulbetrieb (01.09.2012) zur Neuen Mittelschule (NMS) - siehe Abschnitt 2.1 ‚Schultypen (aus pädagogischer Sicht)‘.

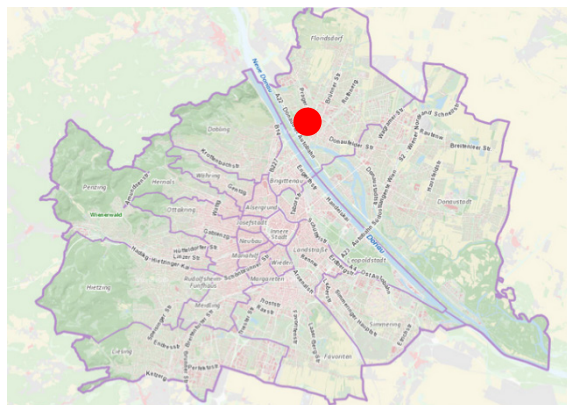


Abbildung 74: Stadtplan von Wien mit Bezirksgrenzen und Standort der Franz Jonas Europaschule¹⁷¹

Das Bauwerk stammt aus dem Jahr 1898 und fällt damit in die Baualtersklasse der Gründerzeit (AK-i3 lt. Tabelle 19). Das Baualter ist für eine Wiener Schule repräsentativ, da die Errichtungszeit bis 1900 anteilmäßig mehr als 30% des aktuellen Gebäudebestands ausmacht - siehe Abbildung 2 (Abschnitt 1.1) und Abbildung 7 (Abschnitt 2.1). Die Bauperiode der Gründerzeit ist durch eine Verdichtung und Verstädterung geprägt. Der unmittelbare städtebauliche Kontext der Schule, der aus dem Lageplan ersichtlich wird, zeigt den dichten Gebäudebestand im urbanen Gebiet. Umliegende Gebäude sind hauptsächlich Wohngebäude aus der Gründer- und Nachkriegszeit (Gemeindebauten, Sozialer Wohnbau), siehe Abbildung 75.



Abbildung 75: Luftbild (Bild links) und Lageplan (Bild rechts, Schule gelb markiert) der Franz Jonas Europaschule¹⁷²

Typischerweise wurde die Schule als Gangschule mit einer symmetrisch angeordneten Doppelstruktur für die Aufteilung in Mädchen und Knaben konzipiert. Der Eingangsbereich und damit die Hauptfassade ist Richtung Nord-Ost orientiert. Die beiden anderen Straßenflügel orientieren sich leicht gedreht Richtung Norden (~15° Drehung nach

¹⁷¹ www.wien.gv.at/stadtplan/ / Zugriff 14.03.2015

¹⁷² Nach www.google.at/maps und www.wien.gv.at/stadtplan/ / Zugriff 12.09.2014

Westen) und Süden (~15° Drehung nach Osten). Der Pausenhof erstreckt sich Ost-West zwischen den beiden Haupttrakten – siehe die 3D Luftbilder in Abbildung 76.

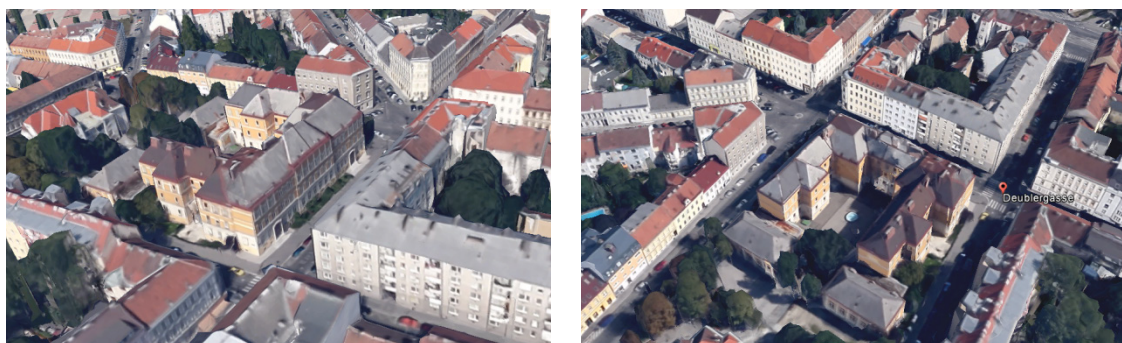


Abbildung 76: 3D Luftbild der Franz Jonas Europaschule von Süden (Bild links) und Westen (Bild rechts)¹⁷³

Klimatisch ist Wien der gemäßigten Klimazone zuzuordnen, die durch kalte, trockene Winter und warme Sommer mit Mittelwerten der Sommermonate über 20°C bestimmt ist. Für die thermisch-dynamische Simulation sowie für die Simulation der kritischen Bereiche (Abschnitt 4.4) werden über monatlich gemittelte Werte und damit statistisch aufbereitete Wetterdatensätze angewendet¹⁷⁴.

BAUSTRUKTUR

Die Beschreibung der Baustruktur wurde im Rahmen des Forschungsberichts (Dubisch, et al. 2012) erstellt. Die fotografischen Abbildungen wurden während der Begehungen im Rahmen des Projekts SchulRen+ erstellt. Die Schule ist freistehend mit einer gegliederten Fassade zur Straßenseite (siehe Abbildung 77) und einer nur im Erdgeschoßbereich gegliederten Fassade im Hofbereich (siehe Abbildung 78).



Abbildung 77: Fassade der Franz Jonas Europaschule straßenseitig

¹⁷³ Google Earth / Zugriff 14.03.2015

¹⁷⁴ Wetterdatensätze in Trnsys aus Meteonorm Datensätzen; www.metenorm.com

Die Gliederung der Fassade ist für einen typischen Gründerzeitbau relativ einfach gehalten und beinhaltet keine komplexen Gesimse oder Ornamente. Die Schule steht nicht unter Denkmalschutz oder Ensembleschutz. Es könnte somit theoretisch auch eine substantielle Veränderung der Fassade durchgeführt werden.

Der Schulhof ist komplett versiegelt und wird sowohl als Pausenhof als auch als Parkplatz genutzt. Im Süden befindet sich ein eingezäunter Sportplatz (Abbildung 79). Die beiden Turnsäle am Ende der Doppelstruktur sind jeweils eingeschossig ausgeführt und können auch direkt über den Hof erschlossen werden. Die Turnsäle sind mit großen Fensterflächen Richtung Westen relativ großzügig natürlich belichtet.



Abbildung 78: Fassade der Franz Jonas Europaschule hofseitig



Abbildung 79: Schulhof der Franz Jonas Europaschule, Blick Richtung Westen (Bild links) und südseitigem Turnsaal (Bild rechts)

Die Erschließung erfolgt über zwei repräsentative Stiegenhäuser im Haupttrakt des Gebäudes, welche das Erdgeschoß als auch die Obergeschosse vertikal erschließen. Die Symmetrie des Baukörpers bezieht sich auf die generelle Gebäudestruktur, nicht jedoch die Anordnung der Klassenzimmer, die auf beiden Seiten jeweils Richtung Norden orientiert sind (siehe Grundriss in Abbildung 80). Die Klassenzimmer werden einhüftig jeweils von der Südseite erschlossen. Der Hauptteil der Klassenzimmer ist damit jeweils von Norden bzw. Osten natürlich belichtet.

Sowohl die relativ großzügigen Gangflächen und Stiegenhäuser als auch der Schulhof werden als Pausenflächen genutzt. Der Freibereich ist relativ groß und bietet damit zusätzliches Potential für die Eingliederung halb-offener oder geschützter Pausenflächen. Im Falle einer Sanierung muss die Schule auch auf den neusten Stand hinsichtlich des Brandschutzes gebracht werden, was eine Verringerung der aktuell genutzten Pausenflächen zur Folge haben könnte (z.B. auf Grund der Breite der Fluchtwege).

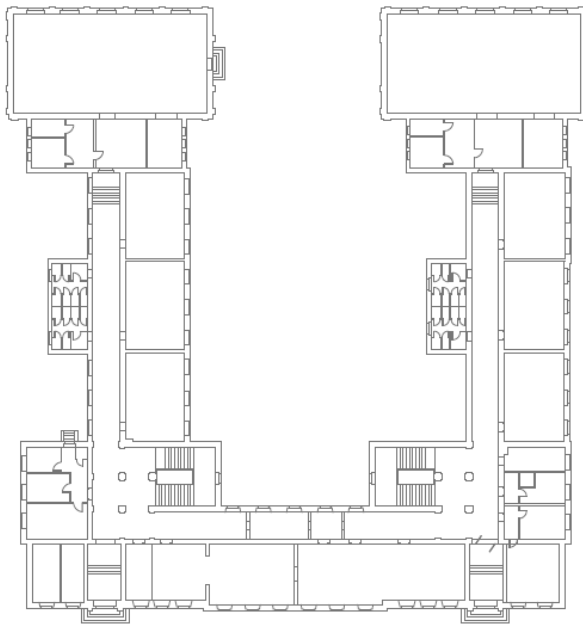


Abbildung 80: Grundriss Erdgeschoß Bestand Franz Jonas Europaschule; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012)



Abbildung 81: Stiegenhaus, typischer Klassenraum (in der Nachmittagsbetreuung genutzt) und Turnsaal der Franz Jonas Europaschule (von links nach rechts)

Der Dachboden ist nicht ausgebaut, bildet aber auf Grund seiner Fläche und der relativ hohen Dachkonstruktion - ausgeführt als Holztragwerk - großes Potential für einen möglichen Ausbau. Das Dach ist nicht gedämmt, ebenso wenig der Dachboden als Schnittstelle zu den darunterliegenden Klassenräumen. Der Kellerbereich wird teilweise als Abstellfläche sowie für Haustechnikräume genutzt und ist nur rudimentär ausgebaut. Die Abstellfläche wird jedoch beheizt, um Feuchtigkeitsschäden zu vermeiden (siehe Abbildung 82).



Abbildung 82: Dachboden, Kellerbereich und unsaniertes Fenster der Franz Jonas Europaschule (von links nach rechts)

Die Baukonstruktion der Außenwände besteht aus massivem Ziegelmauerwerk, das sich vom Erdgeschoß bis zum Dachgeschoß verjüngt (75cm, 60cm und 45cm) und demzufolge auch unterschiedliche U-Werte von $0,8W/(m^2K)$ bis $1,3W/(m^2K)$ aufweist. Die originalen Innenwände sind ebenfalls aus massivem Ziegelmauerwerk vertikal durchgehend ausgeführt und statisch relevant (Erdbebenscheiben). Änderungen in diesen Trennwänden müssen daher statisch berücksichtigt werden. Die Fenster wurden seit 1990 kontinuierlich ausgetauscht. Die Schule weist derzeit 3 unterschiedliche Fenstertypen auf. Die ältesten sind geschätzt über 40 Jahre alt. Die Decken sind generell als Holzbalkendecken (Obergeschosse) oder Kappendecken in einem Gewölbe (Kellergeschoß und Gänge) ausgeführt. Die oberste Geschoßdecke zum Dachboden ist eine Holzbalkendecke mit Beschüttung und teilweise Klinkerbelag.

Der Baukörper ist generell dreigeschossig ausgeführt (Erdgeschoß, erster Stock, zweiter Stock), die Turnsäle - jeweils am Ende der beiden Trakte - sind eingeschossig.



Abbildung 83: Schnitt Bestand Franz Jonas Europaschule; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012)

ENERGIERELEVANTE PARAMETER

Eine Untersuchung der energierelevanten Parameter beinhaltet die Erfassung des Ist-Zustands der Belegung und spezifischen Anforderungen, der Haustechnik und Energieversorgung sowie der Energiekennzahlen Bestand. Im Folgenden sind diese Parameter für die Franz Jonas Europaschule zusammengefasst.

Belegung und spezifische Anforderungen

Die Schule ist nicht als Ganztagschule konzipiert, womit sich die Hauptbelegung im Wesentlichen auf den Vormittag konzentriert. Die Nachmittagsbelegung ist nicht gruppiert und auf mehrere Zonen verteilt. Der in Abbildung 84 dargestellte Belegungsplan basiert auf einer Analyse der Stundenpläne der Schule vom Schuljahr 1997/98 mit intensiver und vom Schuljahr 2010/11 mit weniger intensiver Belegung der Schul- und Sporträumlichkeiten. (Dubisch, et al. 2012)

	h	Turnsäle und Nebenräume	EDV	WC	Lehrer und Direktor	Klassen	Sonderunterricht	Küche und Speisesaal	Bibliothek	Freizeitraum
Normaler Unterricht 08.00 - 14.50	8									
	9									
	10									
	11									
	12									
	13									
	14									
Freizeit, Turnsaal, Lernstunden 14.55 - 17.35 Mo-Do	15									
	16									
	17									
Turnsaal ab 18.00	18									
	19									
	20									
	21									
	22									

Abbildung 84: Belegungsplan der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012)

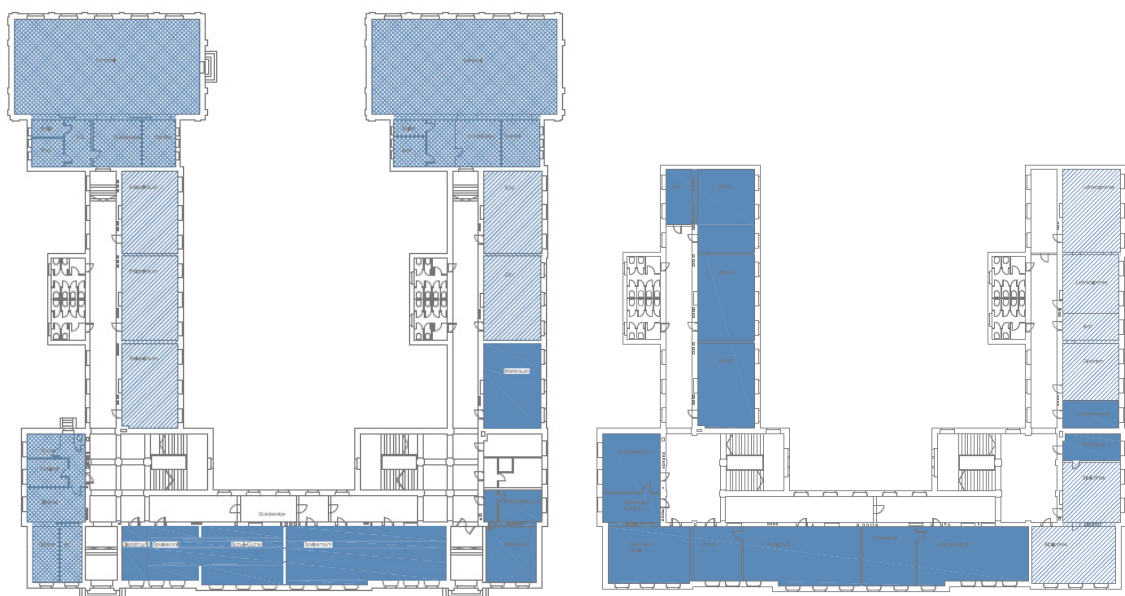


Abbildung 85: Belegungsplan der Franz Jonas Europaschule Erdgeschoß und 1.OG; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012)



Abbildung 86: Belegungsplan der Franz Jonas Europaschule 2.OG und Schnitt; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012)

Die Farb-Codierung der Grundrisse und Schnitte in Abbildung 85 und Abbildung 86 entspricht in der Darstellung der Farb-Codierung jener von Abbildung 84: Dunkelblau = normaler Unterricht (08.00 – 14.55); Hellblau = Freizeit, Turnsaal, Lernstunden (14.55 – 17.30 von Montag bis Donnerstag); Mittelblau = Turnsaal (ab 18.00).

Räumlich aufgeteilt sind damit alle drei Stockwerke über den gesamten Tagesverlauf (bis 18.00) zur Gänze temperiert, wie in den Abbildungen Abbildung 85 und Abbildung 86 ersichtlich. Um eine Abschätzung der inneren Lasten aufgrund der Personenbelegung vorzunehmen, wird in den in Abschnitt 4.4 zusammengefassten Simulationen (Basisfall) von der folgenden Belegung ausgegangen: Vollbelegung aller Klassen geteilt durch die gesamte Anzahl an Schülern und Lehrpersonal; die Profile folgen dem Tagesbetrieb wie in Abbildung 84; Abwesenheiten an Wochenenden und Ferien werden angenommen.

Haustechnik und Energieversorgung

Die Wärmeversorgung wird über Fernwärme bereitgestellt. Die Heizung wird ohne Nachtabsenkung gefahren, jedoch wird der Raumtemperatur-Sollwert in den Ferien von 22°C auf 17°C gesenkt. Durch die oben beschriebene heterogene Nutzung aller Zonen und Stockwerke des Gebäudes werden alle Räume gleichermaßen beheizt. Die Wärmeabgabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren, die teilweise mit Thermostatventilen ausgestattet sind. Die Heizelemente sind jedoch häufig durch Tische und sonstiges Mobiliar verstellt. Es ist davon auszugehen, dass eine individuelle Regelung in den einzelnen Räumen nur selten stattfindet. Der Warmwasserbedarf wird durch zwei Gaskessel abgedeckt, die bereits veraltet sind (das genaue Herstellungsdatum konnte nicht ermittelt werden).

Lüftungssystem ist keines vorhanden. Die Frischluftzufuhr erfolgt manuell über Fensteröffnung. Für die thermisch dynamische Simulation in Abschnitt 4.4 wird eine Infiltration (unter der Annahme einer Undichtheit der Gebäudehülle auf Grund des Baualters) von $0,4h^{-1}$ über 24h pro Tag – d.h. durchgehend – durchgeführt. Die Fensterlüftung wird bei Belegung der Klassenzimmer mit einem konstanten Luftwechsel

von $0,6h^{-1}$ angenommen. Da die Infiltration und die Fensterlüftung überlagert werden, ergibt sich ein 1-facher Luftwechsel. Nach einer Untersuchung von Bestandschulen, welche ohne mechanische Lüftungssysteme operieren, kann dieser Wert als realistisch eingestuft werden (Milles 2010).

Die Beleuchtung erfolgt über konventionelle Leuchtstoffröhren. Für die thermisch dynamische Simulation wird für die Beleuchtung in den Klassenzimmern ein Wert von $19W/m^2$ (BGF) angenommen. Um ein realistisches Verhalten abzubilden, wird die Beleuchtung in der folgenden Simulation erst nach Belegung und bei gleichzeitiger Unterschreitung der solaren Einstrahlung von $200W/m^2$ auf die Horizontalfläche aktiviert.

Energiekennzahlen Bestand

Details zu Wand- bzw. Deckenaufbauten sowie bauphysikalische Details in Form von Berechnungen sind für das Projekt nicht vorhanden. Die für die energetische Bewertung durchgeführte thermisch dynamische Simulation basiert demzufolge auf einer Bestandsaufnahme durch Begehung bzw. Annahmen der Aufbauten für ein dem Alter und Bautyp entsprechendes Objekt. Der aktuelle Energieverbrauch des Gebäudes bildet die Grundlage der Analyse der Sanierungskonzepte. Anhand von Verbrauchsdaten der Jahre 2006 bis 2010 die von der MA34¹⁷⁵ zur Verfügung gestellt wurden, konnte der Verbrauch von Gas, Strom und Fernwärme ermittelt werden. Die in Tabelle 30 dargestellten Kennzahlen beziehen sich auf die beheizte Bruttogeschossfläche von $4898 m^2$ und sind über fünf Jahre gemittelt. Der Strombedarf liegt mit $14 kWh/(m^2a)$ unter dem Durchschnittswert von vergleichbaren Schulen, die in einer deutschen Studie analysiert wurden und im Mittelwert bei $20 kWh/(m^2a)$ liegen (Kluttig 2001).

Energiekennzahlen Projektbeispiel Franz Jonas Europaschule (Bestand)

	MWh/a	kWh/(m ² a)	Vergleichswerte ^{176 177}
Strom	69	14	20 kWh/(m ² a)
Fernwärme	677	138	
Fernwärme bereinigt ¹⁷⁸	619	126 a	
Fernwärme + Gas	738	151	
Fernwärme + Gas bereinigt	674	138	120 bis 160 kWh/(m ² a)

Tabelle 30: Energiekennzahlen Projektbeispiel Franz Jonas Europaschule (Bestand); Berechnungen im Rahmen des Projekts SchulRen+ (Dubisch, et al. 2012)

¹⁷⁵ MA34 Bau- und Gebäudemanagement

¹⁷⁶ Vergleichswerte Stromverbrauch in Schulen in Deutschland nach (Kluttig 2001)

¹⁷⁷ Vergleichswerte Heizenergiebedarf für Gründerzeitbauten nach (Haselsteiner, E.; Lorbek, M.; Stosch, G.; Temel, R. 2010)

¹⁷⁸ Nach Heizgradtagen (HGT) jährlich bereinigte Energiekennzahl bezogen auf standardisierte Werte für Wien; Korrekturfaktor = Reziprokwert von HGT Normjahr / HGT betrachtetes Jahr

Die Energiekennzahl für den Heizenergiebedarf liegt mit 138 kWh(m²a) ebenso im Mittelfeld von vergleichbaren Objekten, die im Rahmen des Projekts Baustelle Schule untersucht wurden. Werte für Gründerzeitbauten liegen im Bereich von 120 kWh(m²a) und 160 kWh(m²a) (Lorbek, Haselsteiner, et al. 2010).

Eine detaillierte Aussage über die Gewinne und Verluste im Gebäude kann das in der thermisch dynamischen Simulationsumgebung berechnete Modell liefern (Beschreibung der Simulationsumgebung findet sich in Abschnitt 3.5). In Abbildung 87 sind die thermischen Gewinne und Verluste des Bestandsgebäudes dargestellt: Die Gewinne setzen sich aus den internen Lasten (Personen, Beleuchtung sowie Abwärme aus anderen Geräten), der Solarstrahlung sowie der Heizenergie zusammen. Infiltration, Lüftung und Transmission machen die Verluste aus. Die Verluste sind abhängig von der Temperaturdifferenz innen / außen. Der Wert ‚Heizung‘ im Diagramm stellt die Heizenergie dar, die aufgebracht werden muss, um die Solltemperatur zu erreichen. Damit sind die Gewinne und Verluste in diesen Diagrammen immer gleich hoch. Nachdem der reine Heizenergiebedarf zur Gänze von der Fernwärme abgedeckt wird, wurde der ermittelte Fernwärmewert (siehe Tabelle 30) als Ausgangsbasis in der Simulation herangezogen.

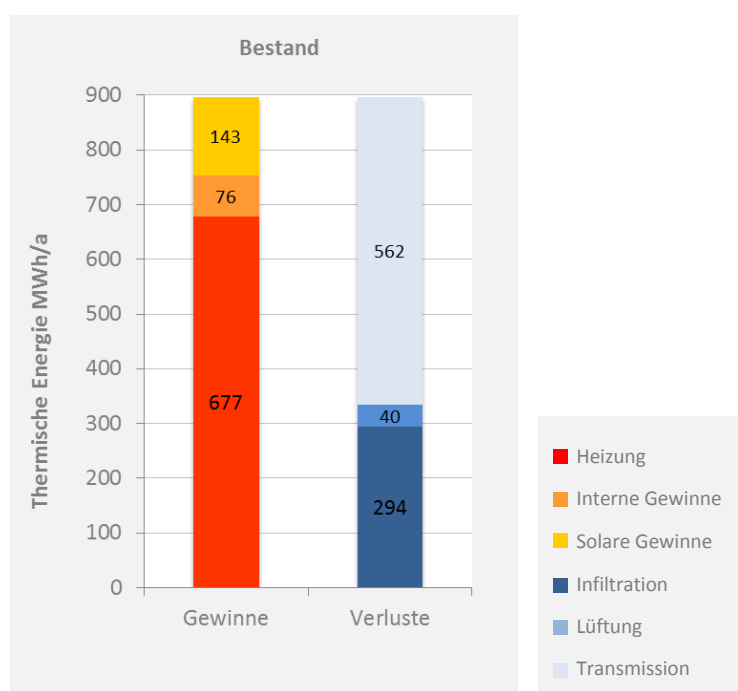


Abbildung 87: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a¹⁷⁹ im Bestandsgebäude

Varianten zur Sanierung sind in Folge im Abschnitt 4.3 beschrieben. In Abschnitt 4.4 werden die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen in der gleichen Darstellungsweise zusammengefasst. In den Diagrammen ist jeweils gesondert auf den Balken ‚Heizung‘ zu achten, dieser Wert verringert sich, je geringer die Verluste sind, d.h. je geringer der Wert, desto höher die Energieeffizienz des Gebäudes.

¹⁷⁹ Die Einheit MWh bzw. kWh wird hier mit der Zeiteinheit als gebräuchliche und üblicherweise verwendete Einheit angeführt

4.2. Zielbild Beispiel

Im Rahmen des Projekts SchulRen+ wurde kein spezifisches Zielbild für die Sanierung der Franz Jonas Europaschule entwickelt, da wesentliche Stakeholder (Direktor, Pädagogen, Schüler) nicht in das Projekt eingebunden waren. Das Forschungsprojekt wurde als Sondierung ausgeführt und diente dazu, an Hand eines konkreten Fallbeispiels replizierbare Konzepte Richtung Plus-Energie-Sanierung zu untersuchen. Ziel des Projekts war, eine ganzheitliche Sanierung basierend auf den Projektergebnissen zu initiieren. Dies ist jedoch auf Grund der strukturellen Rahmenbedingungen nicht zustande gekommen - siehe dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.2.

Im Verlauf des Projekts wurden zwei Expertenworkshops durchgeführt, an denen auch Vertreter der relevanten Behörden (MA34, MA56) sowie des ÖISS teilnahmen. Das in Abbildung 88 dargestellte Zielbild wurde nach Abschluss des Projekts erstellt. Es basiert auf den in den Workshops genannten Vorstellungen der involvierten Stakeholdern, die in den Protokollen im Projektbericht dokumentiert sind (Dubisch, et al. 2012). Die Beschreibungen der einzelnen Punkte sind in Tabelle 29 in Abschnitt 3.2 zusammengefasst.



Abbildung 88: Beispiel der Prioritätenmatrix für die Sanierung der Franz Jonas Europaschule basierend auf den Ergebnissen der Expertenworkshops nach (Dubisch, et al. 2012)

Die beispielhaft ausgefüllte Prioritätenmatrix zeigt eine Schwerpunktsetzung bei Energieeffizienz und Reduktion der CO₂-Emissionen einerseits sowie bei einer differenzierten Lernsituation andererseits. Diese Fokussierung spiegelt sich im Folgenden in den im Projekt entwickelten Sanierungskonzepten (siehe Abschnitt 4.3) wider.

4.3. Sanierungskonzepte Beispiel

Die in diesem Abschnitt dargestellten Sanierungskonzepte folgen der in Abschnitt 3.4 entwickelten Methodik zur Erstellung von ganzheitlichen Sanierungskonzepten im Schulbau. Die ganzheitliche Betrachtung sowie die Wechselwirkungen zwischen energetischer Sanierung und neuen Raumanforderungen stehen dabei im Vordergrund der modularartig aufgebauten Methodik und der Anwendung im hier dargestellten Projekt.

Im Rahmen des Projekts SchulRen+ wurden für das Beispiel der Franz Jonas Europaschule in einem iterativen Prozess drei Maßnahmenbündel entwickelt, die bezüglich Innovationsgrad, Komplexität und Kosten variieren sollten, um eine breite Palette an Konzepten Richtung Plus-Energie-Sanierung abzudecken. Die Auswahl der Maßnahmenbündel im Projekt stützte sich auf die konkrete bautechnische, architektonische und ökonomische Umsetzbarkeit einerseits und auf Forschungsergebnisse, realisierte Projekte und Erfahrungswerte aus der Praxis der Projektpartner andererseits. Die Einzelmaßnahmen wurden mit den Projektpartnern bei interdisziplinären Workshops in einem Brainstorming gesammelt. Die so definierten Maßnahmen wurden in Folge jeweils einer der vier Kategorien zugeordnet: haustechnische Maßnahmen, bauliche Maßnahmen, bewusstseinsbildende Maßnahmen und sonstige Maßnahmen. Darüber hinaus wurden die Ideen nach ihrem Innovationsgrad bewertet, um sie drei verschiedenen Konzepten zuweisen zu können. Der erste Entwurf bildet das ‚einfachste Konzept‘ ab, welches dem Stand der Technik entspricht. Konzept 2 weist einen höheren Innovationsgrad und damit höhere Komplexität auf. Konzept 3 bildet das innovativste Konzept ab. Wichtig in der Konzeptentwicklung war die Herangehensweise mittels eines modulartigen Aufbaus, um z.B. auch eine etappenweise Umsetzung – je nach Verfügbarkeit der finanziellen Mittel des Projekts - zu ermöglichen (Dubisch, et al. 2012).

Die im Projekt entwickelten Maßnahmen wurden für die Darstellung in dieser Arbeit an die Methodik aus Abschnitt 3.4 angepasst¹⁸⁰. Die im Projekt definierten Einzelmaßnahmen sind in den vier Maßnahmengruppen abgebildet:

- Auswahl Maßnahmengruppe 1 Passiv (Abbildung 89)
- Auswahl Maßnahmengruppe 2 Gebäudetechnik (Abbildung 90)
- Auswahl Maßnahmengruppe 3 Erneuerbare Energien (Abbildung 91)
- Auswahl Maßnahmengruppe 4 Begleitmaßnahmen (Abbildung 92)

In den vier Maßnahmengruppen werden die für die Franz Jonas Europaschule entwickelten Konzepte jeweils in unterschiedlichen Innovationsgraden dargestellt. Konzept 1 des Projekts ist dabei als **Standard-Sanierung**, Konzept 2 als **Standard Plus-Sanierung** und Konzept 3 als **innovative Sanierung** festgelegt. Die Auswahl der unterschiedlichen Maßnahmengruppen im Projekt ist in den Abbildungen 89 bis 92 dargestellt.

¹⁸⁰ Nachdem die Maßnahmen erst nachträglich der Methodik zugeordnet wurden, bauen die drei Konzepte nicht aufeinander auf. D.h. nicht alle Maßnahmen, die im Standard+ oder Innovativ Konzept enthalten sind, sind auch im Standard Konzept enthalten. Die im Folgenden dargestellten Maßnahmen sind daher projektspezifisch zu sehen. Würde die Methodik von Anfang an in einem Projekt angewendet werden, so wäre zu erwarten, dass die unterschiedlichen Konzepte aufeinander aufbauen.

AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 1 PASSIV

KONZEPTERSTELLUNG
AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 1 PASSIV



MASSNAHMENGRUPPE	STANDARD			PASSIV: REDUZIERUNG DES GESAMTENERGIEVERBRAUCHS
	STANDARD	STANDARD+	INNOVATIV	
A FASSADEN / HÜLLFLÄCHEN 	X	X	X	▪ Dämmung Aussenwand
	X	X	X	▪ Dämmung oberste Geschossdecke / Dach
	X	X	X	▪ Dämmung Kellerbereich
			X	▪ Vorgefertigte Fassadenmodule
	X	X	X	▪ Austausch der Fenster
			X	▪ Optimierung der Fensterflächen (Tageslichtoptimierung, Verschattung)
		X	X	▪ Transparente Wärmedämmung
		X		▪ Nutzung von ETFE für Überdachungen
B GRUNDRISS 	X			▪ Thermische Trennung unterschiedlicher Nutzungszonen
	X	X	X	▪ Thermische Trennung vertikaler + horizontaler Erschließungsflächen
	X	X	X	▪ Clusterbildung Gang / Klasse
	X	X	X	▪ Auslagerung von Sonderbereichen in angrenzende Zone
C BAUKÖRPER 		X	X	▪ Schließung von auskragenden Elementen
		X	X	▪ Überdachung von Innenhöfen
		X	X	▪ Nachverdichtung durch Aufstockung / Zubau
		X	X	▪ Auslagerung der vertikalen Erschließung
D STATISCHES SYSTEM 			X	▪ Schaffung von Atrien für neue Nutzungsbereiche
		X	X	▪ Nutzung von Speichermassen (Decke, Wand)
			X	▪ Betonkernaktivierung (bei nachträglichem Deckeneinbau)

Abbildung 89: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 1 Passiv

Die ausgewählten Maßnahmen im passiven Bereich stellen einerseits die ‚Standard‘ Sanierungsvarianten bekannter Sockelsanierungen dar und beinhalten andererseits in den innovativeren Konzepten vor allem räumliche Veränderungen. Die Auswahl der Maßnahmengruppe 1A zeigt, dass eine thermische Sanierung in allen Konzepten als notwendige Grundlage angesehen wird. Nachverdichtung und substantielle architektonische Maßnahmen finden sich im vorliegenden Beispiel nur im Standard+ und innovativen Konzept. Statische Eingriffe sind ebenso nur Teil des innovativen Konzepts.

AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 2 GEBÄUDETECHNIK



Abbildung 90: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 2 Gebäudetechnik


Im Bereich der Gebäudetechnik und haustechnischen Maßnahmen wurden in erster Linie die Maßnahmen in allen Innovationsstufen angegeben, die sich auf eine räumliche Veränderung und damit den Grundriss des Gebäudes beziehen. Geänderte Nutzungsbedingungen bedingen neue regelungstechnische Ansätze – Lüftungssysteme in Abhängigkeit von der Grundrissart, Heiz- und Kühlkreise in Abhängigkeit von der Zonierung und Orientierung sowie Flexibilität in der Regelungstechnik sind demzufolge Grundvoraussetzungen aller Konzepte.

Lüftungssysteme, die statische Veränderungen hervorrufen (Durchbrüche und Wand- und Decken) oder die direkt in die Fassade integriert werden müssen, wurden im Rahmen des Projekts den innovativeren Konzepten zugeordnet. Eine Luftvorwärmung durch Kellerräume oder den Dachbodenbereich kann die Effizienz der Lüftungsanlage erhöhen, vor allem dann, wenn der Dachboden zusätzlich gedämmt wird und damit höhere und stabilere Temperaturen im Innenraum erreicht werden können. In diesem Zusammenhang ist aber zu bedenken, dass die Luftvorwärmung einen erheblichen Mehraufwand bedeutet.

AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 3 ERNEUERBARE ENERGIEN

KONZEPTERSTELLUNG

AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 3 ERNEUERBARE ENERGIEN







MASSNAHMEN GRUPPE	STANDARD			ERNEUERBARE ENERGIEN: ARCHITEKTONISCHE + SYSTEMTECHNISCHE INTEGRATION
	STANDARD	STANDARD+	INNOVATIV	
A FASSADEN / HÜLLFLÄCHEN 	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Einbindung von PV in Hüllflächen Einbindung von Solarthermie in Hüllflächen Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen PV-Verschattungselemente
	X			
			X	
		X	X	
B GRUNDRISS 		X	X	<ul style="list-style-type: none"> BHKW (Pelletts, Biogas) – Anlieferung und Lagerraum
C BAUKÖRPER 			X	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung von transparenten Überdachungen (Innenhof) für PV (Schließung des Baukörpers)
D STATISCHES SYSTEM 			X	<ul style="list-style-type: none"> Verstärkung der Konstruktion / Unterkonstruktion zur Einbindung von erneuerbaren Systemen Tiefenbohrung (Wärmepumpe)
			X	

Abbildung 91: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 3 Erneuerbare Energien

Die Einbindung erneuerbarer Energien der Maßnahmengruppe 3 wurde im Projekt in den meisten Einzelmaßnahmen dem Standard+ oder innovativem Konzept zugeordnet. Die Einbindung von Solarthermie und Photovoltaik in die Hüllflächen (Dach, Fassade) sind als einzige Maßnahmen dieser Gruppe jeweils im Standard-Konzept zu finden.

Vorgefertigte Fassadenmodule wurden auf Grund der gegliederten Fassade als innovativ eingestuft. Bei einer Verdichtung des Objekts (Überdachung des Innenhofs, Schließung auskragender Elemente) kann ein Rastersystem mit hohem Vorfertigungsgrad zur Anwendung kommen (siehe Auswahl Maßnahmengruppe 1 Passiv).

Die Implementierung eines BHKWs wurde im Rahmen der energetischen Betrachtung geprüft, stellte sich jedoch für das vorliegende Beispiel als unpassend heraus, da die Wärmeversorgung über Fernwärme bereitgestellt wird. Diese weist in Wien einen sehr niedrigen Primärenergiefaktor (PEF) auf (siehe Tabelle 22 in Abschnitt 2.5) und macht damit eine Neu-Installation eines Biomasse-BHKWs energetisch und ökonomisch unwirtschaftlich.

AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 4 BEGLEITMAßNAHMEN

KONZEPTERSTELLUNG

AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 4 BEGLEITMASSNAHMEN

4 

MASSNAHMENGRUPPE	STANDARD			BEGLEITMASSNAHMEN
	STANDARD	STANDARD+	INNOVATIV	
I  STAKEHOLDER	X	X	X	Einbindung der Stakeholder (Schüler, Eltern, Pädagogen, Magistrate) bei: <ul style="list-style-type: none"> - Konzeptentwicklung und Planung - Entwicklung der Bewusstseinsbildenden Massnahmen - Entwicklung des Visualisierungskonzepts - Entwicklung des Finanzierungskonzepts Begleitung der Stakeholder in der Bauphase
II  BEWUSSTSEINSBILDUNG	X			<ul style="list-style-type: none"> Visualisierung des Energieverbrauchs (Tabellen / Grafiken / Bilder)
	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Visualisierung des Energieverbrauchs durch Kunst
		X	X	<ul style="list-style-type: none"> Visualisierungen von Wechselwirkungen in Klassenräumen
			X	<ul style="list-style-type: none"> Energiesparmotivation durch Boni für Schüler und Lehrer
			X	<ul style="list-style-type: none"> Alternative Energiegewinnung durch Demonstrationsprojekte
III  FINANZIERUNG		X		<ul style="list-style-type: none"> Finanzielle Beteiligung der Schule an Energieeinsparungen
			X	<ul style="list-style-type: none"> Vermietung von Sonderflächen (Dachgeschoss / Keller / Zubau)
			X	<ul style="list-style-type: none"> Vermietung von Hüllflächen an Energieversorger
	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Alternative Finanzierungsformen (Contracting / Intracting /...)
IV  MÖBLIERUNG			X	<ul style="list-style-type: none"> Fahrräder für Lehrer als ‚Sammelbatterie‘
	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Innenraumgestaltung mit flexibler Möblierung
			X	<ul style="list-style-type: none"> ‚Kunst‘ durch Recycling und erneuerbare Energiesysteme

Abbildung 92: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 4 Begleitmaßnahmen

Die Begleitmaßnahmen der Maßnahmengruppe 4 stellen einen wesentlichen Aspekt in der erfolgreichen Umsetzung eines Sanierungsvorhabens dar, lassen sich jedoch am schwersten sowohl energetisch als auch ökonomisch quantifizieren. Die Begleitung der Stakeholder während der Konzeptentwicklung und der Bauphase wurde im vorliegenden Beispiel als notwendige Grundlage gesehen und ist in allen drei Konzepten zu finden. Innovativere Aspekte, vor allem im Bereich der Finanzierung, sind nicht in der Standard-Sanierung abgebildet. Das zeigt, dass es hier noch an adäquaten Modellen und Erfahrungsbeispielen fehlt, auf die im Rahmen eines Bauprojekts ohne lange Vorlaufzeiten zugegriffen werden kann.

4.4. Bewertung der Sanierungskonzepte Beispiel

Analog dem Aufbau der in Kapitel 3 entwickelten Methodik werden hier die wesentlichen Ergebnisse der Bewertung der Sanierungskonzepte zusammengefasst. Die **energetische Bewertung** beinhaltet eine Zusammenfassung der ausgewählten Sanierungsvarianten, die in der thermisch-dynamischen Simulationsumgebung Trnsys berechnet wurden. Das **Plus-Energie Szenario** veranschaulicht, wie eine positive energetische Bilanzierung erreicht werden kann. Ein eigener Abschnitt ist der Analyse der **kritischen Bereiche** gewidmet, um sowohl sommerliche Überwärmung, als auch Ecksituationen, die aus bautechnischer und energetischer Sicht Schwachstellen darstellen, gesondert zu betrachten. Die **Bewertung der Lebenszykluskosten** fasst die relevanten Erkenntnisse der Projektergebnisse hinsichtlich ökonomischer Machbarkeit zusammen.

ENERGETISCHE BEWERTUNG

Ausgehend vom Ist-Zustand werden in der energetischen Bewertung verschiedene Varianten in einer thermisch-dynamischen Simulationsumgebung dargestellt. Ziel ist es, die Planer in der Entscheidungsfindung mit quantitativen Analysen zu unterstützen und spezifische Fragestellungen abzudecken.

Durch die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten in der Analyse ist eine iterative Vorgehensweise unabdingbar, um aussagekräftige Ergebnisse zu gewinnen. Die Varianten bauen auf den in Abschnitt 4.3 definierten Sanierungskonzepten auf.

Für die im Folgenden dargestellten Simulationen wurde das **Konzept 1 Standard-Sanierung** in verschiedenen Varianten analysiert. In der Diskussion mit den im Projekt involvierten Stakeholdern und nach einer ersten Abschätzung der Lebenszykluskosten (siehe Abschnitt ‚Bewertung der Lebenszykluskosten‘) wurden die Konzepte 2 (Standard+) und 3 (Innovativ) für eine weitere Realisierung ausgeschlossen.

Ausgangsbasis der Varianten ist das Bestandsmodell, welches auf Basis von Energiekennzahlen, einer Bestandsaufnahme vor Ort sowie den Bestandsplänen und vorliegenden Information zum Bauwerk erstellt wird. Eine detaillierte Beschreibung des Bestandsmodells ist in Abschnitt 4.1, Energierelevante Parameter, Energiekennzahlen Bestand zu finden.

Übersicht Kenngrößen

In den im Folgenden dargestellten Varianten werden jeweils einheitliche Kenngrößen für die unterschiedlichen Bauteile sowie Lüftungs-, Heizungs- und regelungstechnischen Maßnahmen angenommen. Die Vereinheitlichung der wesentlichen Kenngrößen soll sicherstellen, dass die simulierten Varianten vergleichbar und die Auswirkungen der Maßnahmen nachvollziehbar dargestellt werden können.

In Tabelle 31 sind die Kenngrößen, gegliedert in Bestand und Sanierung, angegeben.

Beschreibung der Kenngrößen Bestand / Sanierung in der Simulation

BESCHREIBUNG	BESTAND	SANIERUNG
Aufbauten ⇒ Thermische Eigenschaften der Aufbauten der Hüllflächen (Wand / Decke / Kellerdecke)	Lt. Tabelle 32	Lt. Tabelle 32
Fenster ⇒ Thermische Eigenschaften der Fenster (inkl. Rahmen)	Lt. Tabelle 32	Lt. Tabelle 32
Infiltration ⇒ Luftwechselzahl (LWZ, n_L) durch Infiltration	0,4 h ⁻¹	0,15 h ⁻¹
Lüftung ⇒ Luftwechselzahl durch (Fenster)Lüftung (wird bei mechanischer Lüftung auf 0 gesetzt)	0,6 h ⁻¹	0
Lüftung mit WRG ⇒	Keine mechanische Lüftung	Mechanische Lüftung mit WRG; LWZ 1,5 h ⁻¹
Temperaturabsenkung ⇒ Temperatur wird lt. Spreizung abgesenkt	Ferien	Ferien / Wochenende / Nacht
Zonierung ⇒ Clustering einzelner Zonen, die getrennt angesteuert werden können (Zonen zur Nachmittagsbetreuung werden beheizt und belüftet, unbenutzte Zonen nicht)	Keine Zonierung	Zonen mit Nachmittagsbelegung: EG Süd-Trakt; 1.OG Ost- und Süd-Trakt; 2.OG Süd-Trakt
Heizen ⇒ Spreizung der Heizung; Solltemperatur der Absenkung vs. beheiztem Zustand	17°C / 22°C	Keine Änderung

Tabelle 31: Beschreibung der Kenngrößen Bestand / Sanierung in der Simulation

In Tabelle 32 sind die für die Simulationen verwendeten U-Werte und g-Werte für den Bestand und die Sanierungsvarianten zusammengefasst. Das Ziegelmauerwerk der Außenwände verjüngt sich vom Keller zum Dachgeschoss. Demnach sind für die Außenwände im Bestand unterschiedliche U-Werte anzunehmen (Außenwand 1, 2 und 3 in Tabelle 32). Der Bestand weist auch drei unterschiedliche Fenstertypen auf, da diese bereits zu unterschiedlichen Zeiten und mit unterschiedlicher Qualität ausgetauscht wurden (Fenster 1, 2 und 3 in Tabelle 32) - siehe auch Abschnitt 4.1 ‚Gebäudeanalyse Beispiel‘.

Bei der Sanierung der Außenhülle (Wände, oberste Geschossdecke, Kellerdecke) wird eine Dämmung der Bauteile mit einer Dämmstoff-Dicke von 20cm bei einer Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs von 0,036W/mK angenommen. Die resultierenden U-Werte sind in Tabelle 32 dargestellt. Die Fenstersanierung bezieht sich auf einen

Austausch aller Fenster auf Dreischeibenverglasung mit den U-Werten und g-Werten lt. Tabelle 32. Durch den Austausch der Fenster wird vorausgesetzt, dass sich die Luftdichtheit des Gebäudes erhöht und damit der Luftwechsel auf Grund des Fenstertausches von $0,4 \text{ h}^{-1}$ auf $0,15 \text{ h}^{-1}$ reduziert wird.

U-Werte und g-Werte nach Bauteil Bestand / Sanierung in der Simulation

BAUTEIL	U-Werte / g-Werte BESTAND	U-Werte / g-Werte SANIERUNG
Außenwand 1	0,99 W/(m ² K)	0,152 W/(m²K)
Außenwand 2	1,26 W/(m ² K)	0,157 W/(m²K)
Außenwand 3	0,82 W/(m ² K)	0,147 W/(m²K)
Innenwand	1,72 W/(m ² K)	1,72 W/(m ² K)
Kellerdecke	1,20 W/(m ² K)	0,157 W/(m²K)
Innendecke	0,97 W/(m ² K)	0,97 W/(m ² K)
Oberste Geschossdecke	1,41 W/(m ² K)	0,16 W/(m²K)
Dach	1,68 W/(m ² K)	1,68 W/(m ² K)
Boden (erdanliegend)	1,70 W/(m ² K)	1,70 W/(m ² K)
Fenster 1 (alt) ¹⁸¹ (Glas)	2,83 W/(m ² K) 2,60 W/(m ² K) g-Wert = 0,75	0,82 W/(m²K) g-Wert = 0,5
Fenster 2 (1993) ¹⁸² (Glas)	1,90 W/(m ² K) 1,30 W/(m ² K) g-Wert = 0,6	0,82 W/(m²K) g-Wert = 0,5
Fenster 3 (2005) ¹⁸³ (Glas)	1,60 W/(m ² K) 1,10 W/(m ² K) g-Wert = 0,6	0,82 W/(m²K) g-Wert = 0,5

Tabelle 32: U-Werte und g-Werte nach Bauteil Bestand / Sanierung in der Simulation

¹⁸¹ Alte Fenster im Gangbereich

¹⁸² Fenster in den Klassenräumen; Fenstertausch ~1993 (betrifft die Räume zur Deublergasse, ausgenommen die nord-westliche Ecke und die Klassenräume im südlichen Gebäudeteil im 1. und 2. OG, ausgenommen Freizeiträume im EG)

¹⁸³ Fenster in den Klassenräumen; Fenstertausch ~2005 (betrifft alle Klassenräume des nördlichen Gebäudeteils sowie Fenster an der nord-westlichen Ecke Deublergasse)

Übersicht Varianten

Basierend auf den Bestandsdaten wurden im Rahmen der Simulation unterschiedliche Sanierungsvarianten berechnet, welche diejenigen Einzelmaßnahmen aus den Sanierungskonzepten abbilden, die den größten Einfluss auf das energetische Verhalten des Gebäudes haben und damit ein relevantes Einsparpotential aufweisen. Die Variantengruppen sind dabei über die Einzelmaßnahmen den jeweiligen Sanierungskonzepten zuzuordnen. Als Basiswert (Bestand) in der Simulation wird der Fernwärmewert (siehe Tabelle 30) als Ausgangsbasis herangezogen.

Die verschiedenen Maßnahmen in der Simulation lassen sich dabei in vier Variantengruppen gliedern, die im Folgenden beschrieben und als Übersicht in Tabelle 33 zusammengefasst sind.



In **Variantengruppe A** werden einzelne, auf die Gebäudehülle bezogene Maßnahmen simuliert. Unterschieden wird dabei die Sanierung aller Außenwände, Sanierung der Kellerdecken und Sanierung der obersten Geschossdecke. Bei einer Sanierung der Fenster ändert sich auch die Luftwechselzahl auf Grund der reduzierten Infiltration. Die jeweiligen U-Werte sowie g-Werte der einzelnen Bauteile sind in Tabelle 32 dargestellt.

Die Variantengruppe A bildet im Wesentlichen Sanierungsmaßnahmen aus der in der Methodik beschriebenen Maßnahmengruppe 1 Passiv / Fassade und Hüllfläche ab.



In **Variantengruppe B** werden die Sanierungsvarianten aus A kumuliert berechnet. B1 sieht eine umfassende Sanierung der Gebäudehülle ohne Fenstertausch vor. B2 bildet eine vollständige Sanierung der Hülle inklusive Fenster ab.

Die Variantengruppe B bildet ebenso wie Gruppe A Sanierungsmaßnahmen aus der in der Methodik beschriebenen Maßnahmengruppe 1 Passiv / Fassade und Hüllfläche ab.



Zusätzlich zur Sanierung der Außenhülle werden in **Variantengruppe C** in C1 die Auswirkungen einer Temperaturabsenkung in der Nacht und an den Wochenenden (in den Ferien erfolgt die Temperaturabsenkung auch im Bestand). In C2 wird darüber hinaus eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vorgesehen. Die zugehörigen Ausführungen zu den einzelnen Sanierungsmaßnahmen der Haus- und Regelungstechnik (Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Nachtabsenkung) sind in Tabelle 31 aufgelistet.

Die Variantengruppe C verknüpft Sanierungsmaßnahmen aus der in der Methodik beschriebenen Maßnahmengruppe 1 Passiv / Fassade und Hüllfläche + 2 Gebäudetechnik / Grundriss.



In **Variante D** wird in D1 unabhängig von einer thermischen Sanierung das Einsparungspotential einer Zonierung bzw. Clustering einzelner Flächen zusätzlich zu einer Temperaturabsenkung untersucht. Diese Gruppe stellt die einzigen nicht baulichen und damit relativ minimal-invasiven Maßnahmen dar, die ausschließlich mittels Regelungstechnik durchgeführt werden können.

Die Variantengruppe D bezieht sich auf die Maßnahmengruppen 1 Passiv / Grundriss + 2 Gebäudetechnik / Grundriss.

Beschreibung der simulierten Variantengruppen

VARIANTE ⇨	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2	D1
Außenwände				x	x	x	x	x	
Kellerdecke	x				x	x	x	x	
Oberste Geschossdecke		x			x	x	x	x	
Fenster			x			x	x	x	
Infiltration			x			x	x	x	
Lüftung								x	
Lüftung mit WRG								x	
Temperaturabsenkung							x	x	x
Zonierung									x

Tabelle 33: Beschreibung der simulierten Variantengruppen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Variantengruppen zusammengefasst und diskutiert. Die Resultate aus den Simulationen werden dabei jeweils zusammengefasst als Heizwärmebedarf (HWB) in kWh(m²/a)¹⁸⁴ als auch als Gesamtsumme in MWh/a (thermische Energie) dargestellt.

Die Varianten basieren jeweils auf den Basisdaten (siehe Abschnitt 4.1) und den für die für die Simulation definierten Parametern und Rahmenbedingungen, die in Tabelle 31 und Tabelle 32 dargestellt sind.

¹⁸⁴ Energiekennzahl Klimabereinigt nach HGT für Norm Wetterdaten Standort Wien

Ergebnisse Variantengruppe A

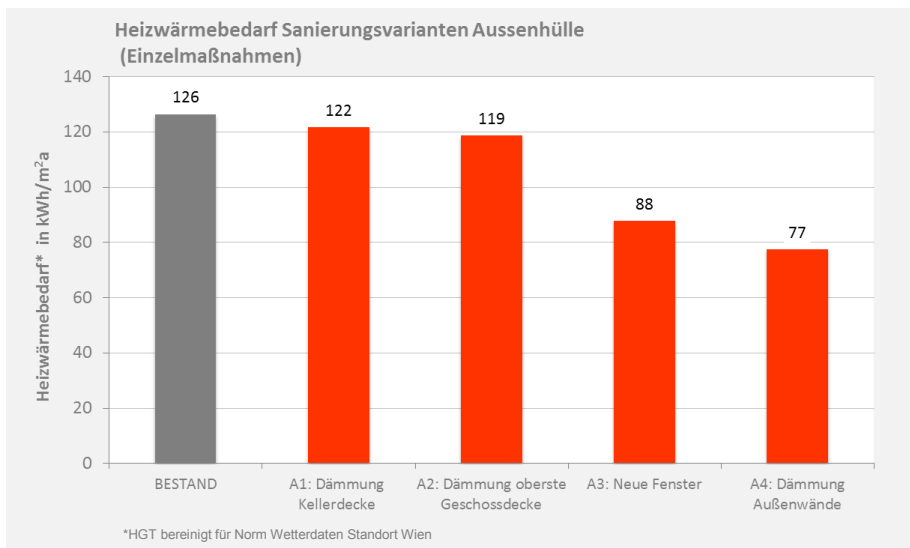


Abbildung 93: Heizwärmebedarf Sanierungsvarianten Außenhülle (Einzelmaßnahmen)

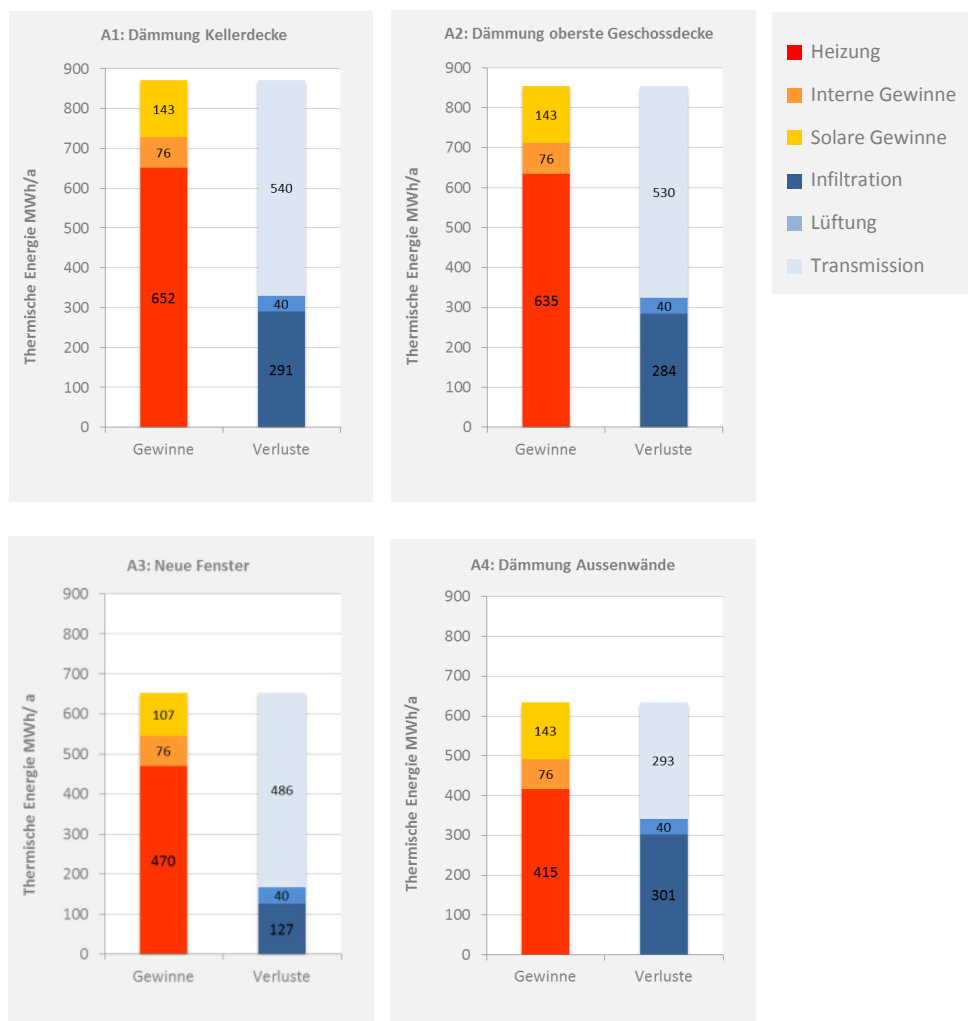


Abbildung 94: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a für Sanierungsvarianten A1, A2, A3 und A4

Die Simulationsergebnisse aus Variantengruppe A zeigen das relativ große Einsparpotential, das alleine durch die Sanierung der Gebäudehülle umgesetzt werden kann. Die quantitative Darstellung der Einzelmaßnahmen ist insofern relevant, als ein modulartiger Aufbau die Realisierung einzelner Maßnahmen in einer zeitlichen Abfolge zulässt.

Da oft nur ein begrenztes Budget zur Sanierung der Schulen in einem Jahr zur Verfügung gestellt wird, kann damit die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen abgeschätzt werden (siehe Abschnitt 2.2 ‚Finanzierungsmodelle und Anreizsysteme‘). Mit zusätzlichen Aussagen über die Lebenszykluskosten können auf diese Weise auch Prioritäten für eine etappenweise Sanierung gesetzt werden.

Wie aus Abbildung 93 ersichtlich, kann mit einer Dämmung der Fassade (große Außenflächen auf Grund der freistehenden Bauweise) der größte Einspareffekt erzielt werden. Die Dämmung der Kellerdecke sowie der obersten Geschoßdecke hat aus energetischer Perspektive nur eine geringe Auswirkung. Es wird sich vor allem bei der Dämmung der Kellerdecke der thermische Komfort in den Klassenräumen im Erdgeschoß erhöhen. In Variante A3 (Abbildung 94), die einen kompletten Tausch der Fenster vorsieht, können die deutlich reduzierten Verluste durch Infiltration abgelesen werden.

Ergebnisse Variantengruppe B

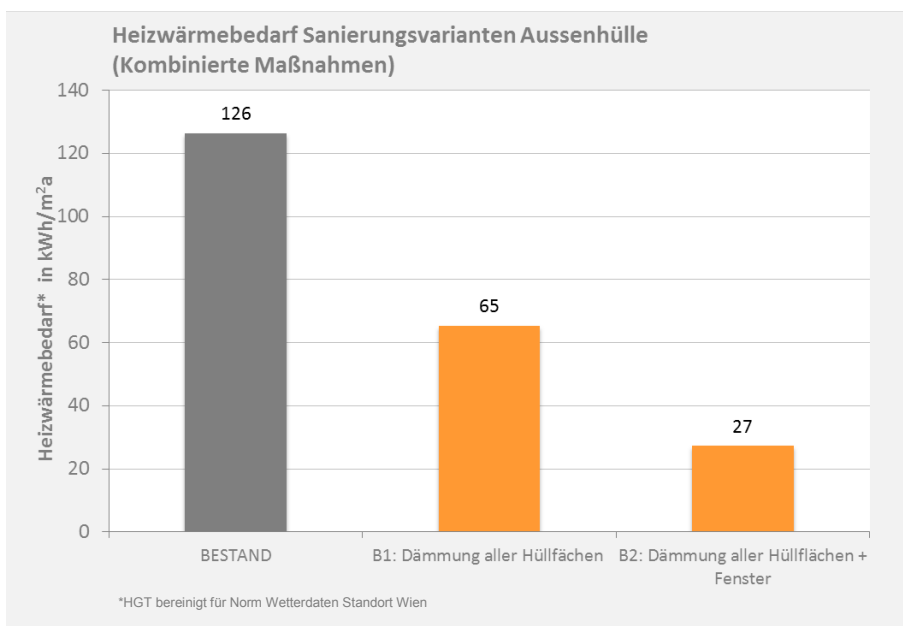


Abbildung 95: Heizwärmebedarf Sanierungsvarianten Außenhülle (Kombinierte Maßnahmen)

Durch eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen kann das Einsparpotential gegenüber Einzelmaßnahmen substantiell verbessert werden. Eine Dämmung der gesamten Hüllflächen (oberste Geschoßdecke, Kellerdecke, Außenwände) reduziert den HWB um 48% (Variantengruppe B1). Werden zusätzlich die Fenster getauscht, so wird eine Einsparung von 78% erzielt (siehe Abbildung 95).

In Variante B1 werden die Transmissionswärmeverluste um 57% auf 239 MWh/a reduziert. Die verbesserte Luftdichtheit durch einen Fenstertausch (B2) verringert darüber hinaus die Infiltration um 46% und bringt die Verluste durch Transmission auf 159 MWh/a, was einer Reduktion von 72% gegenüber dem Bestand entspricht (Abbildung 96).

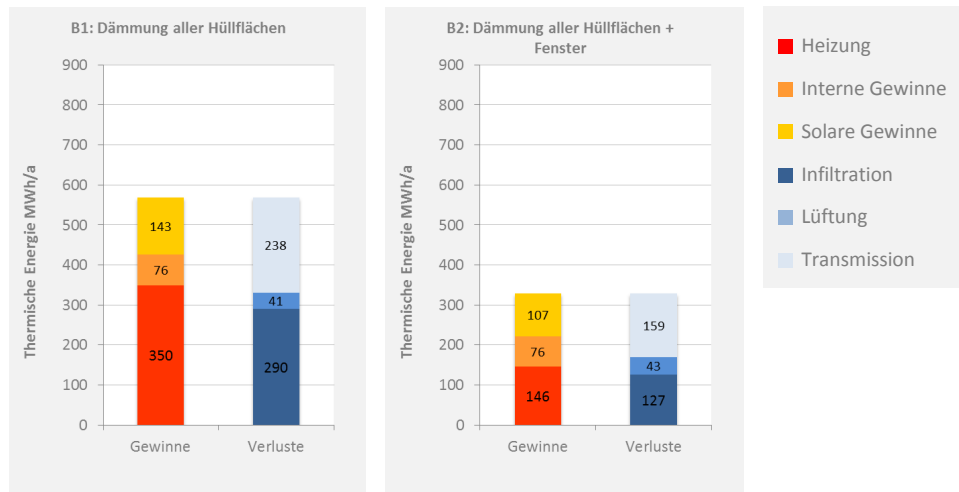


Abbildung 96: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a für Sanierungsvarianten B1 und B2

Ergebnisse Variantengruppen C + D

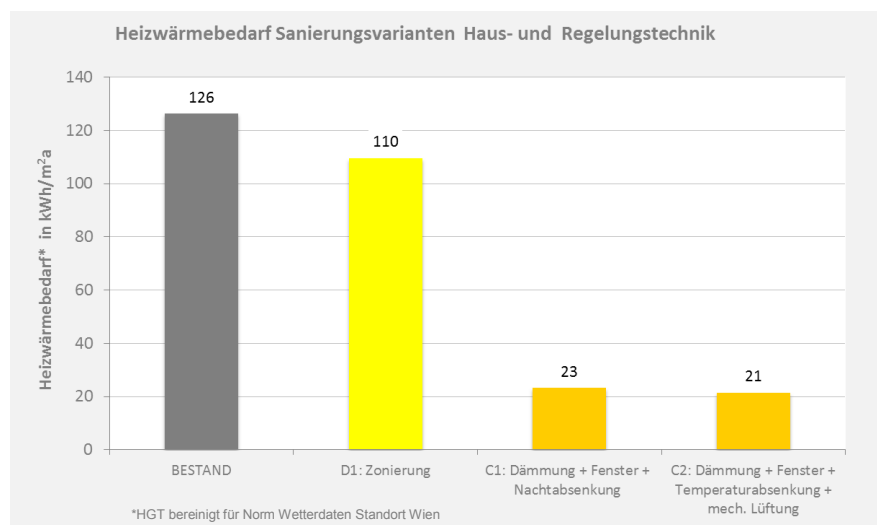


Abbildung 97: Heizwärmebedarf Sanierungsvarianten Haus- und Regelungstechnik

In den Variantengruppen A und B wird (analog dem Bestand) als regelungstechnische Maßnahme nur die Absenkung des Raumtemperatur-Sollwerts in den Ferien durchgeführt. In der Variantengruppe C wird als zusätzliche Maßnahme der Sollwert sowohl nachts als auch während der Wochenenden auf 17°C gesenkt. Dies hat eine weitere Reduktion der benötigten Heizenergie von 146MWh/a (B2) auf 124MWh/a (C1) zur Folge (Abbildung 98). Prozentuell bedeutet dies nur eine zusätzliche Einsparung von 15%, da durch die Sanierung der Hülle der Heizwärmebedarf schon auf einem niedrigen Niveau ist. Der HWB_{BGF} -Wert verringert sich um $4kWh(m^2a)$ von $27Wh(m^2a)$ (siehe Abbildung 95, Variante B2) auf $23kWh(m^2a)$ (siehe Abbildung 97, Variante C1). Bei der Interpretation

dieses Ergebnisses ist zu berücksichtigen, dass diese Einsparung nur auf einer regelungstechnischen Maßnahme beruht und demnach keine zusätzlichen Investitionskosten bedingt.

Für die Simulation des Bestands wurde bei Schulbetrieb ein 1-facher Luftwechsel angenommen, welcher sich aus der Fensterlüftung ($n_L=0,6\text{ h}^{-1}$) und der Infiltration ($n_L=0,4\text{ h}^{-1}$) zusammensetzt (siehe Tabelle 31). Durch eine erhöhte Luftdichtheit des Gebäudes wird der Luftwechsel auf 0,75 reduziert, da der Wert für die Fensterlüftung gleich bleibt, die Infiltration jedoch verringert wird. Dieser Wert ist für den Schulbau zu gering, um eine adäquate Luftqualität und CO_2 -Konzentration sicherzustellen - siehe dazu Ausführungen in Abschnitt 2.3 ‚Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität‘.

In Variante C2 wird demzufolge eine kontrollierte Lüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung vorgesehen. Die Luftwechselzahl wird bei Schulbetrieb mit $1,5\text{ h}^{-1}$, die Wärmerückgewinnung dabei mit 80% angenommen. Basierend auf der Größe der Räume und der Anzahl der Personen ist im Detail zu untersuchen, ob die empfohlenen Maximalwerte der CO_2 -Obergrenzen damit eingehalten werden können (siehe Tabelle 14 in Abschnitt 2.3). Alternativ kann eine hybride Lüftung eingesetzt werden, welche die konventionelle Fensterlüftung mit der mechanischen Lüftung bedarfsgerecht kombiniert. Die durch die Komfortlüftung zusätzlich erreichte Einsparung an Heizenergie wird dadurch jedoch wieder kompensiert (Dubisch, et al. 2012). Die Reduktion der Lüftungswärmeverluste kann in Abbildung 98 (C2) abgelesen werden. Diese werden im Vergleich zu Variante C1 von 43MWh/a auf 33MWh/a reduziert.

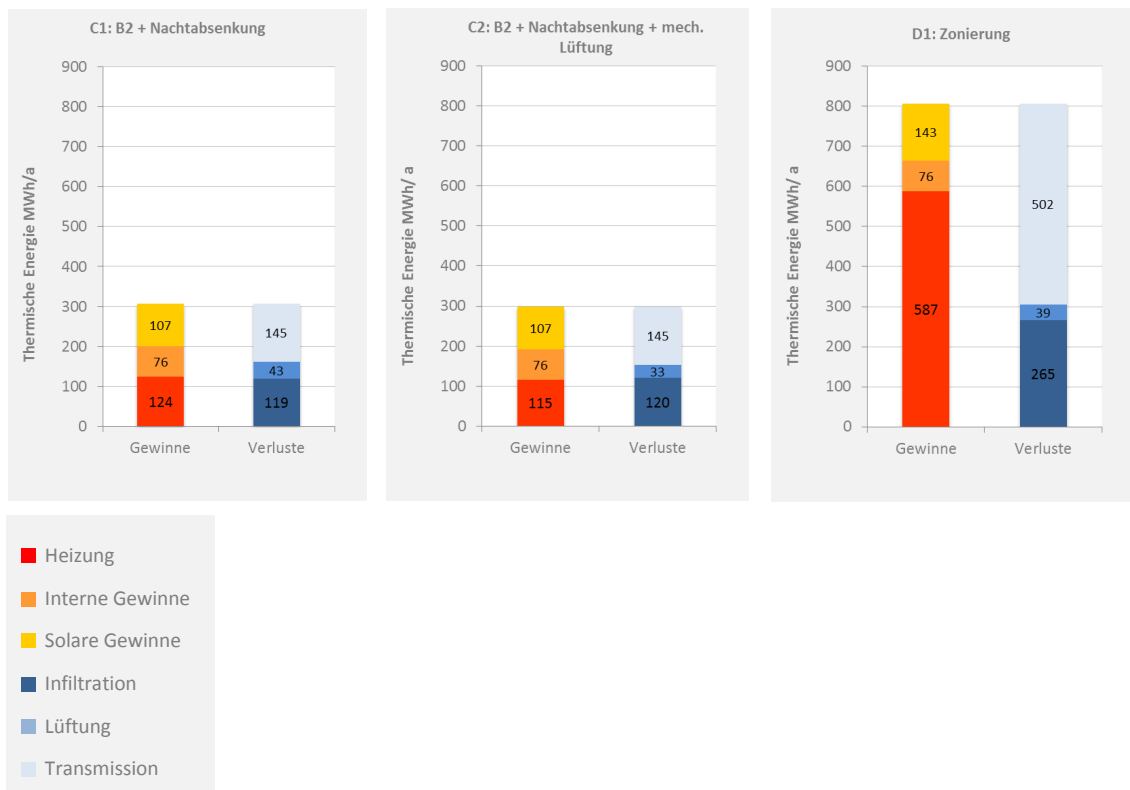


Abbildung 98: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a für Sanierungsvarianten C1, C2, und D1

In Variantengruppe D wird untersucht, inwieweit eine Zonierung zusätzlich zu einer Nachtabsenkung ein Einsparpotential bewirkt. Wie in Abbildung 98 (D1) dargestellt, wird durch diese Maßnahme die Heizenergie von 677MWh/a auf 587MWh/a reduziert. Das entspricht einer prozentuellen Einsparung von 13%. In dieser Variante wird angenommen, dass die kostenintensive thermische Sanierung der Gebäudehülle nicht durchgeführt und nur heiz- und regelungstechnische Maßnahmen umgesetzt werden.

Zusammenfassung Ergebnisse thermisch-dynamische Simulation

Durch die quantitative Erfassung der Einzelmaßnahmen können Aussagen zur Wirksamkeit der unterschiedlichen Sanierungsvarianten getroffen werden. Durch den modularen Aufbau können einzelne Sanierungsvarianten berechnet und bewertet werden. Damit kann ein zeitlich unabhängiger Aufbau von unterschiedlichen Einzelmaßnahmen erfolgen. Aus energetischer Perspektive kann die Umsetzung von singulären, sukzessiv umgesetzten Maßnahmen wie in den Simulationsergebnissen veranschaulicht durchaus sinnvoll sein. Bautechnisch sowie ökonomisch und logistisch ist eine Gruppierung in den meisten Fällen dennoch vorzuziehen. So muss z.B. die Baustelleneinrichtung oder die Implementierung von Gerüsten für Tausch der Fenster als auch die Sanierung der Gebäudehülle gleichermaßen vorgenommen werden. Erfolgt dies nicht in einer Abwicklung, können durch den zusätzlichen Aufwand erhebliche Mehrkosten entstehen. Dies muss der Tatsache gegenüber gestellt werden, dass Bezirke jährliche Budgets für die Sanierungen zu verantworten haben und eine Kumulation über Jahresgrenzen hinaus aus struktureller Perspektive oft nicht möglich ist (siehe dazu Abschnitt 2.2).

In Abbildung 99 ist die prozentuelle Reduktion des Heizwärmebedarfs in den unterschiedlichen Varianten zusammengefasst. Durch eine umfassende thermische Sanierung sowie eine Anpassung der Lüftungs-, Heizungs- und regelungstechnischen Konzepte (Bedarfsgeregelte Heizung und Lüftung, Variante C1) kann eine Reduktion des Heizenergiebedarfs von 82% erzielt werden. Das entspricht einer Einsparung von 553MWh/a (von 677MWh/a, Bestand auf 124MWh/a, siehe Abbildung 98, Variante C1).

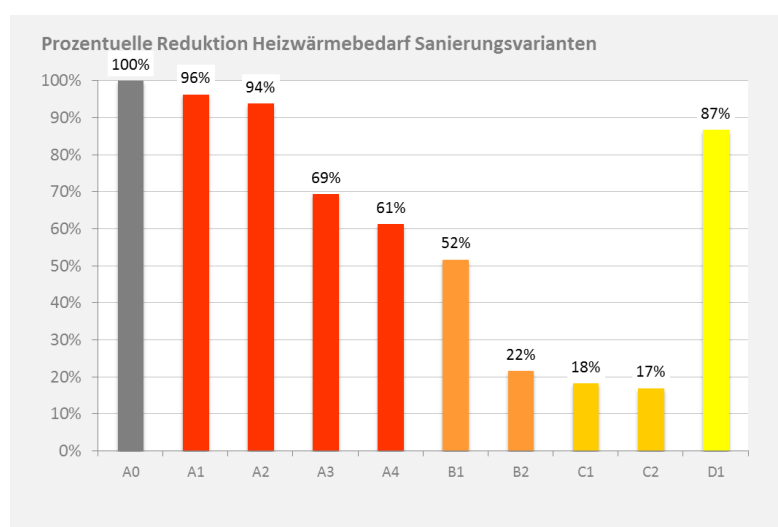


Abbildung 99: Prozentuelle Reduktion des Heizwärmebedarfs in unterschiedlichen Sanierungsvarianten

PLUS-ENERGIE SZENARIO

Aufbauend auf der energetischen Bewertung der Maßnahmengruppe 1 Passiv und Maßnahmengruppe 2 Gebäudetechnik erfolgt im dritten Schritt die Einbindung der erneuerbaren Energien.

In einem urbanen Umfeld kommen fünf Technologien zum Einsatz: Kleinwindkraftanlagen (KWKA), Photovoltaik (PV), Solarthermie (ST), Wärmepumpen (WP) und Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Biomasse (siehe Abschnitt 2.6). Eine KWKA wurde auf Grund der in Wien geltenden rechtlichen und strukturellen Rahmenbedingungen (siehe Abschnitt 2.2 ‚Regulative‘ und Tabelle 8) ausgeschlossen.

Der Einsatz eines BHKWs sowie die Neu-Installation einer Wärmepumpe wurden ebenso im Rahmen des Projekts nicht verfolgt, da das Objekt bereits über einen Fernwärmeanschluss verfügt (siehe 4.3 ‚Auswahl Maßnahmengruppe 3 Erneuerbare Energien‘). Demzufolge wurde der Einsatz von Solarthermie und Photovoltaik analysiert.



Die Sanierungsmaßnahmen zur Einbindung von erneuerbaren Energien fokussieren auf die Integration von ST und PV in die Hüllflächen. Ziel ist eine hohe Eigenbedarfsdeckung und Plus-Energie-Bilanz. Voraussetzung ist eine Sanierung, die passive und gebäudetechnische Aspekte abdeckt.

Diese Analyse bildet im Wesentlichen Sanierungsmaßnahmen aus der in der Methodik beschriebenen Maßnahmengruppe 3 Erneuerbare Energien / Fassade und Hüllfläche ab.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Abschätzung des Ertrags aus ST und PV für Wärme und Strom beschrieben und eine Bilanzierung der Primärenergie durchgeführt.

Wärme

Ausgehend von einer umfassenden thermischen und gebäudetechnischen Sanierung (siehe Variante C1 im Abschnitt Energetische Bewertung) wird von einem Jahres-Heizenergiebedarf von 124MWh/a ausgegangen. Der Warmwasserbedarf wird mit 42,35MWh/a angenommen und ergibt sich aus dem gemittelten Gasverbrauch von 60,5MWh mit einem Wirkungsgrad der Gaskessel von $\eta = 0,7$.

Da das Gebäude über einen Fernwärmeanschluss verfügt, wird nur ein Anteil der gesamten Heizenergie durch ST ersetzt. Ziel ist es, so weit als möglich den Gasverbrauch durch den Einsatz von erneuerbaren Energien zu reduzieren. Im Projekt wurden 30m² solarthermische Paneele vorgesehen. Das entspricht bei einem angenommenen Systemwirkungsgrad von $\eta = 0,3$ einem jährlichen Ertrag von 10,5MWh/a (Dubisch, et al. 2012) - siehe Tabelle 36: Annahmen zur Bilanzierung Plus-Energie Szenario nach (Dubisch, et al. 2012).

Strom

Der gemittelte Jahresstromverbrauch liegt bei 69MWh/a (Tabelle 30). Dieser Wert erhöht sich durch den Einsatz einer dezentralen Lüftungsanlage um 5,4MWh/a auf 74,4MWh/a. Die Annahmen für die Auslegung der Anlage sind in Tabelle 34 zusammengefasst.

Durch den Einsatz effizienter Gebäudetechnik (Austausch von unregelmäßig genutzten Heizungspumpen mit Hochleistungspumpen; Ersatz Beleuchtungskörper mit energieeffizienten Alternativen etc.) wird eine signifikante Reduktion angenommen. Der aus den Effizienzmaßnahmen und der Lüftung resultierende Strombedarf wird mit 35MWh/a angenommen. Dies entspricht einer Halbierung des aktuellen Verbrauchs (Dubisch, et al. 2012).

Annahmen zur Auslegung der dezentralen Lüftungsanlage

Dezentrale Lüftungsanlagen	Menge	Einheit
Spezifische Luftmenge pro Schüler	30,0	m ³ /h
Anzahl Schüler	25,0	Personen / Klasse
Resultierender Luftvolumenstrom	750,0	m ³ /h
Betriebsstunden	1200,0	h/a
Specific fan power (SPF)	0,3	Wh/m ³
Strombedarf pro Gerät	270,0	kWh/a
Anzahl Geräte	20,0	Stück
Strombedarf Gesamt	5400,0	kWh/a

Tabelle 34: Annahmen zur Auslegung der dezentralen Lüftungsanlage nach (Dubisch, et al. 2012)

Um eine Abschätzung der Erträge aus PV und ST durchzuführen, wurde im thermisch-dynamischen Modell in der Simulationsumgebung Trnsys die Strahlungssumme über die südliche Dachfläche berechnet. Die Schule verfügt über 500m² Dachfläche, die mit einer Neigung von 55° zur Horizontalen und um ca. 17° von Süd nach Ost gedreht ist. In der Berechnung wurde ein um 20% reduzierter Referenzwert von 400m² für die Nettofläche der Module angenommen.

Mit einer berechneten Einstrahlung von 1170kWh(m²a) ergibt sich damit bei einer Modulfläche von 400m² und einem Wirkungsgrad von $\eta = 0,13$ ein Stromertrag von 60,8MWh/a (siehe Annahmen in Tabelle 36).

Bilanzierung

Basierend auf den beschriebenen Annahmen kann, wie in Tabelle 35: Bilanzierung Plus-Energie Szenario nach (Dubisch, et al. 2012) dargestellt, durch den Einsatz von 30m² ST und 400m² PV eine positive primärenergetische Jahresbilanz erzielt werden. Die jeweiligen Annahmen sind in Tabelle 36 zusammengefasst.

Diese Zahlen stellen theoretische Jahressummen dar. Voraussetzung ist eine Einspeisung in das Netz für die PV und ein adäquater Speicher zur Abdeckung des Eigenlastanteils bei der ST. Erforderlich für diese positive Bilanz ist auch eine umfassende Sanierung, um den Bedarf an Wärme und Strom in Summe möglichst niedrig zu halten. Ein weiterer Aspekt ist in diesem Projekt der niedrige PE-Faktor der Fernwärme Wien. Müsste der gleiche

Wärmebedarf durch einen fossilen Energieträger aufgebracht werden, so würde die Fläche, die für PV und ST am Bauwerk zur Verfügung steht, nicht ausreichen, um positiv zu bilanzieren.

Bilanzierung Plus-Energie Szenario

Bedarf	MWh/a	Quelle	MWh/a	Primärenergie in MWh/a
Heizung	124,0	Fernwärme	155,8	57,3
Warmwasser	42,4	Solarthermie	10,5	0,0
Wärme Gesamt	166,4			57,3
Strom	35,0	Netz	35,0	91,7
		Photovoltaik	60,8	-159,4
				-10,4

Tabelle 35: Bilanzierung¹⁸⁵ Plus-Energie Szenario nach (Dubisch, et al. 2012)

Die Berechnungen zeigen, dass durch umfassende Sanierungsmaßnahmen substantielle energetische Einsparungen erzielt werden können. Die zur Verfügung stehenden Hüllflächen reichen aus, um mit dem Einsatz erneuerbarer Energien primärenergetisch positiv zu bilanzieren.

Annahmen zur Bilanzierung Plus-Energie Szenario

ANNAHMEN	WERT	EINHEIT
PE-Faktor Fernwärme ¹⁸⁶	0,368	
PE-Faktor Strom ¹⁸⁷	2,62	
Summe Solarstrahlung	1170	kWh(m ² a)
Wirkungsgrad PV	0,13	-
Fläche PV	400	m ²
Leistung	52	kW _{peak}
Wirkungsgrad Solarthermie	0,3	
Fläche Solarthermie	30	m ²
Gasverbrauch im Bestand	60,5	MWh/a
Wirkungsgrad Gaskessel	0,7	
Wärmebedarf WW	42,35	MWh/a
Heizwärmebedarf simuliert	124	MWh/a

Tabelle 36: Annahmen zur Bilanzierung Plus-Energie Szenario nach (Dubisch, et al. 2012)

¹⁸⁵ Primärenergetischer Abzug des PV Ertrags unter der Annahme, dass der Strom vom Kraftwerk ersetzt wird (d.h. das Kraftwerk erzeugt weniger Strom und wird damit theoretisch in die Bilanzierung miteinbezogen)

¹⁸⁶ Nach (OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz 2011), siehe Tabelle 22

¹⁸⁷ Nach (OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz 2011), siehe Tabelle 22

KRITISCHE BEREICHE

Im Hinblick auf eine hohe Energieeffizienz sind besonders bei Sanierungsvorhaben kritische Bereiche im Detail zu analysieren. Dies betrifft unter anderem die sommerliche Überwärmung einzelner Bereiche, nachdem die Luftdichtheit des Gebäudes bzw. die thermische Qualität der Gebäudehülle erhöht wurde, als auch die Vermeidung von Wärmebrücken und Kondensatbildung, welche durch eine zusätzliche angebrachte Fassadendämmung entstehen können.

Im vorliegenden Beispiel der Sanierungsanalyse einer Gründerzeitschule wurden beispielhaft Überwärmung in einem kritischen Raum, als auch die Auswirkung von Wärmedämmmaßnahmen auf die Temperaturverteilung in Ecksituationen untersucht.

Sommerliche Überwärmung

Als kritischer Raum wurde eine süd-ost gelegene Eck-Klasse ausgewählt. Der Klassenraum befindet sich direkt unter dem (nicht gedämmten) Dachboden. Er ist durch umliegende Bauten wenig verschattet und hat durch seine Eck-Situation einen relativ hohen Anteil an Außenflächen. Dieser Raum kann demnach beispielhaft für die übrigen Klassenräume herangezogen werden, da davon auszugehen ist, dass alle anderen Bereiche weniger kritisch bezüglich sommerlicher Überwärmung sind.

Der Raum ist im Grundriss des 2. OGs in Abbildung 100 dargestellt.

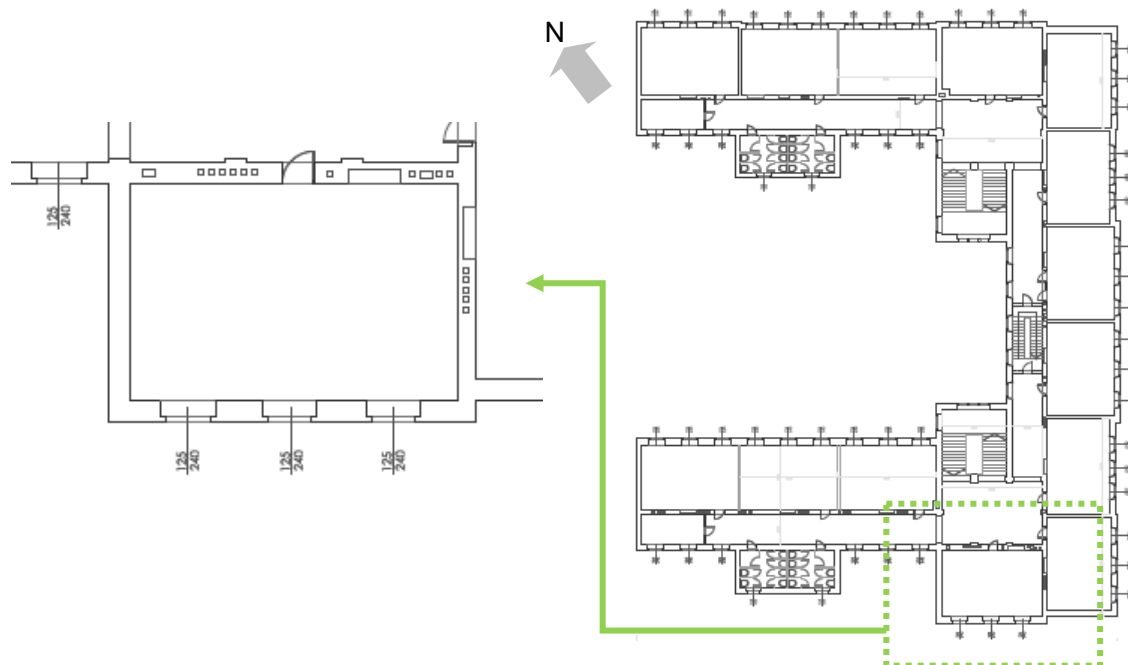


Abbildung 100: Grafische Darstellung des beispielhaft kritischen Raumes bezüglich sommerlicher Überwärmung; Plandaten aus SchulRen+

Für den ausgewählten Raum wurde in Folge die Basisvariante mit den aktuellen Rahmenbedingungen sowie Varianten mit geänderter Verglasung, Verschattung und Lüftung mit dem Simulationsprogramm GEBA¹⁸⁸ lt. Tabelle 37 untersucht.

Varianten zur Simulation der sommerlichen Überwärmung

VARIANTEN	Verglasung	Verschattung	Lüftung
Variante 1 (Basis)	2-Scheiben Wärmeschutzglas; Glasanteil 7,2m ²	Jalousien (innen) nur bei direkter Bestrahlung	Fugen LWZ ¹⁸⁹ : 0,2 [1/h]; Max. LWZ: 1,5 [1/h] = gekippte Fenster
Variante 2	Sonnenschutzglas; g- Wert: 0,25		
Variante 3		Außenjalousien von 06.00 bis 18.00	
Variante 4		Außenjalousien von 06.00 bis 18.00	Stoßlüftung alle 3h mit LWZ 10
Variante 5		Außenjalousien von 06.00 bis 18.00	Stoßlüftung alle 3h mit LWZ 10 + Nachtlüftung mit LWZ 10

Tabelle 37: Varianten zur Simulation der sommerlichen Überwärmung

Gleichbleibende Rahmenbedingungen:

- Gewählter Tag: 20.06.
- Temperaturen: Min.: 16°C, Max.: 30°C
- Belegung: 25 Personen von 08.00 bis 14.00

Als Ergebnis sind die Mindest-, Mittel- und Höchstwerte der operativen Temperaturen im Klassenraum in Abbildung 101 dargestellt. Der Basisfall (aktuelle Situation) zeigt dabei weit überhöhte Temperaturen an einem heißen Tag während der schulischen Betriebszeiten. Weder Sonnenschutzverglasung noch eine geringfügig verbesserte Verschattung durch außenliegende Jalousien bringen eine signifikante Reduktion der Innenraumtemperatur. Damit ist die erhöhte Innenraumtemperatur weniger von den solaren Erträgen, als von der Personenanzahl im Innenraum abhängig.

¹⁸⁸ Programmpaket zur Simulation des thermischen Verhaltens von Räumen, Raumgruppen und Gebäuden im periodisch eingeschwungenen Zustand, insbesondere für normgemäße Sommertauglichkeitsuntersuchungen (z. B. gemäß EN ISO 13791 oder ÖNorm B8110-3) und für dynamische Heiz- und Kühllastberechnungen; nach www.krec.at / Zugriff 10.09.2014

¹⁸⁹ LWZ = Luftwechselzahl

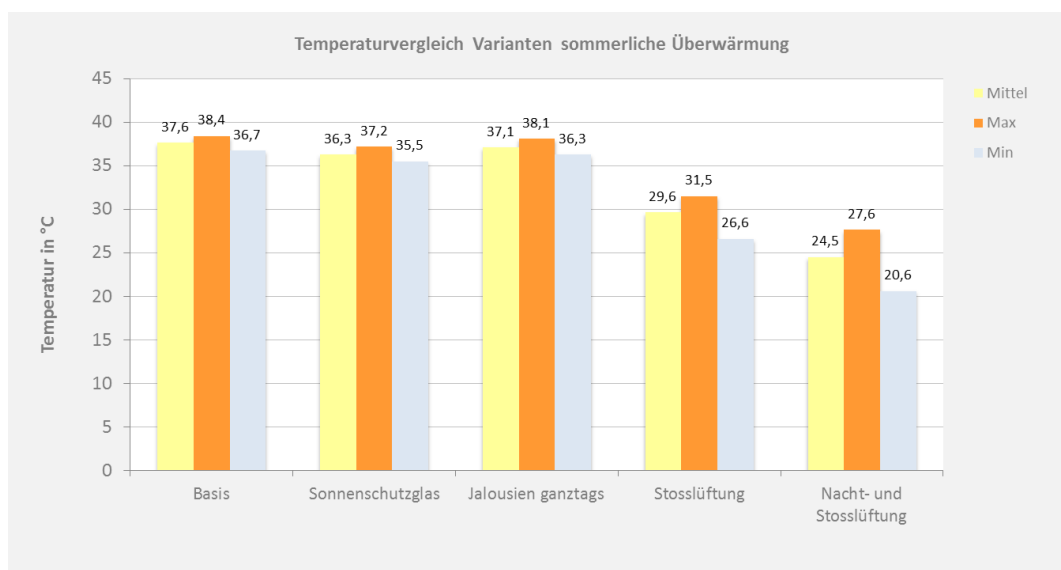


Abbildung 101: Temperaturvergleich Varianten sommerliche Überwärmung eines kritischen Raumes¹⁹⁰

Eine erhöhte Luftwechselzahl (LWZ) durch Stoßlüftung bringt in Folge zu wenig Verbesserung. Nur mit einer kombinierten Stoß- und Nachtlüftung kann die Innenraumtemperatur auf ein für den Sommerfall akzeptables Niveau (~26°) gesenkt werden - siehe dazu auch Abschnitt 2.3 ‚Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität‘. Die geforderte Lüftung könnte entweder durch eine rein mechanische Lüftung oder durch eine mechanische Nacht-Lüftung in Kombination mit einer manuellen Fensterlüftung erzielt werden.

Wärmebrücken / Kondensatbildung

Eine weitere kritische Betrachtung im Rahmen einer energetischen Sanierung bilden neu gedämmte Bereiche vor allem in Randsituationen und Bereichen mit angrenzenden unterschiedlichen Temperaturniveaus. Typischerweise ist dabei besonders auf Räume, die an (ungedämmte) Keller angrenzen, sowie erdberührte Räume zu achten. In Folge werden für das betrachtete Sanierungsprojekt zwei kritische Randsituationen zwischen Klassenraum / Keller (Situation A) bzw. Keller / Erdreich (Situation B) analysiert, die in Abbildung 102 dargestellt sind.

Die erste Simulation bezieht sich auf die in Abbildung 102 bezeichnete Situation A. Der Klassenraum befindet sich in der Ist-Situation direkt über einem ungedämmten Keller. Für die ausgewählte Situation wurde die ungedämmte Basisvariante, Varianten mit Dämmung der Außenwand sowie Kellerdecke mit dem Simulationsprogramm AnTherm¹⁹¹ untersucht¹⁹².

¹⁹⁰ Durchgeführt im Rahmen der VU Thermische Gebäudesimulation an der Technischen Universität Wien; 27.06.2011

¹⁹¹ Programmpaket zur zwei- und dreidimensionalen, stationären und instationären Wärmebrückensimulation; nach www.krec.at / Zugriff 11.09.2014

¹⁹² Durchgeführt im Rahmen der VU 3-dimensionale thermische Simulation an der Technischen Universität Wien; 21.01.2014

Gleichbleibende Rahmenbedingungen für Situation A (siehe Abbildung 102):

λ Werte Aufbauten:

- λ -Wert Holzrahmen: 0,13 W/mK
- λ -Wert Außenwand: 0,78 W/mK
- λ -Wert Boden Beschüttung: 0,7 W/mK
- λ -Wert Boden Holzaufbau: 0,13 W/mK
- λ -Wert Dämmung (Außen oder Boden): 0,036 W/mK (bei Varianten 2, 3 oder 4)

Temperaturen:

- Klassenraum: +20°C
- Keller: +10°C¹⁹³
- Außenluft: -10°C



Abbildung 102: Grafische Darstellung der beispielhaft kritischen Randsituationen bezüglich Wärmebrücken; Plandaten aus SchulRen+

Variante 1 stellt in den folgenden Berechnungen jeweils die Ist-Situation dar.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Dämmung der Kellerdecke (Variante 2) alleine noch nicht ausreicht, um die Gefahr der Kondensat- und Schimmelbildung zu vermeiden. Eine Dämmung der Außenwand bis unter die Deckenunterkante (Variante 3) bringt eine Verbesserung der Situation. Variante 4 zeigt, dass eine Dämmung der Außenwand in Kombination mit einer Dämmung der Kellerdecke die besten Ergebnisse bringt (siehe Tabelle 38).

Die Falschfarben- und Wärmestrombilder (Abbildung 103) zeigen auch deutlich die Schwachstellen an den Randzonen beim Ist-Zustand (Variante 1) und der Variante 2 ohne Außendämmung. Werden in den Klassenräumen in diesen Randsituation darüber hinaus Möbel und andere Gegenstände ohne ausreichenden Abstand an die Außenwand geschoben, so sind Bauschäden durch Kondensatbildung absehbar

¹⁹³ Die winterliche Kellerlufttemperatur von 10°C wird oftmals in relevanten Normen verwendet

Varianten zur Simulation Sanierung Klassenraum / Keller (Situation A)

VARIANTEN	Dämmung Kellerdecke	Dämmung Außenwand	Leitwert Keller / Klasse	f _{RSi} Wert Klasse	Kondensationsgefahr ¹⁹⁴	Gefahr der Schimmelbildung ¹⁹⁵
Variante 1 (Basis)	Nein	Nein	0,7584 W/mK	0,66	ja	ja
Variante 2 (Teilsanierung)	20cm	Nein	0,0911 W/mK	0,66	ja	ja
Variante 3 (Teilsanierung)	Nein	20cm	0,9966 W/mK	0,88	nein	nein
Variante 4 (Vollsanierung)	20cm	20cm	0,1492 W/mK	0,91	nein	nein

Tabelle 38: Varianten zur Simulation Sanierung Klassenraum / Keller (Situation A)

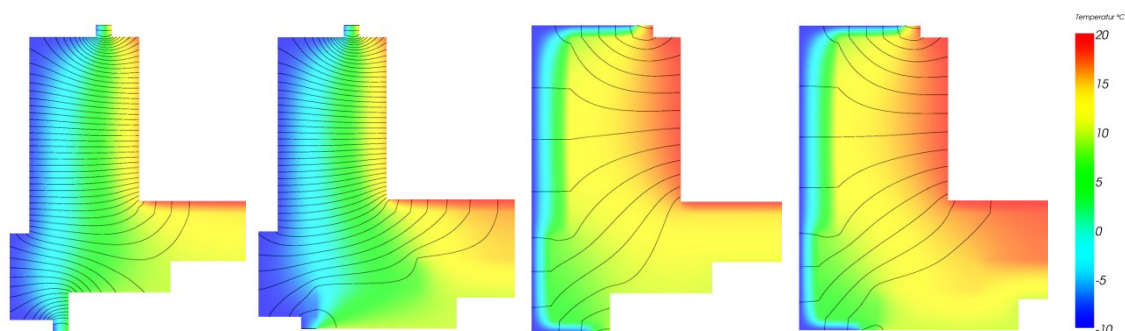


Abbildung 103: Wärmestrom (Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 1,0 W/m) und Falschfarben-Darstellungen der Varianten 1-4 (von links nach rechts) zur Simulation Sanierung Klassenraum / Keller (Situation A)

Die zweite Analyse bezieht sich auf eine typische Randsituation des Gebäudes zwischen Keller und Erdreich (siehe Abbildung 102, Situation B). Im Hinblick auf eine weiterführende Nutzung des Kellerbereichs werden unterschiedliche Dämmvarianten untersucht.

Gleichbleibende Rahmenbedingungen der Aufbauten für Situation B:

λ Werte Aufbauten:

- λ-Wert Holzrahmen: 0,13 W/mK
- λ-Wert Außenwand: 0,78 W/mK
- λ-Wert Erdreich: 2 W/mK
- λ-Wert Dämmung (Außen oder Boden): 0,036 W/mK (bei Varianten 2, 3, 4 oder 5)

Temperaturen:

- Keller: +10°C
- Außenluft: +5,7°C¹⁹⁶

¹⁹⁴ Lt. DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau; keine Kondensationsgefahr wenn f_{RSi} Wert > 0,69

¹⁹⁵ Lt. DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau; keine Gefahr der Schimmelbildung wenn f_{RSi} Wert > 0,71

Varianten zur Simulation der Sanierung Keller / Erdreich (Situation B)

VARIANTEN	Dämmung Kellerboden	Dämmung Kellerwand	Leitwert Keller / Klasse	f _{RSi} Wert Klasse	Kondensationsgefahr ¹⁹⁷	Gefahr der Schimmelbildung ¹⁹⁸
Variante 1 (Basis)	Nein	Nein	3,4268 W/mK	0,76	nein	nein
Variante 2 (Teilsanierung)	20cm	Nein	2,4576 W/mK	0,77	nein	nein
Variante 3 (Vollsanierung)	20cm	20cm innen	1,1581 W/mK	0,96	nein	nein
Variante 4 (Teilsanierung)	nein	20cm außen	2,7974 W/mK	0,85	nein	nein
Variante 5 (Vollsanierung)	20cm	20cm innen 20cm außen	1,1168 W/mK	0,95	nein	nein

Tabelle 39: Varianten zur Simulation Sanierung Keller / Erdreich (Situation B)

Die Simulation der Keller / Erdreich-Situation zeigt, dass auch die Werte in der unsanierten Variante 1 nicht kritisch hinsichtlich Kondensat- oder Schimmelbildung sind (siehe Tabelle 39).

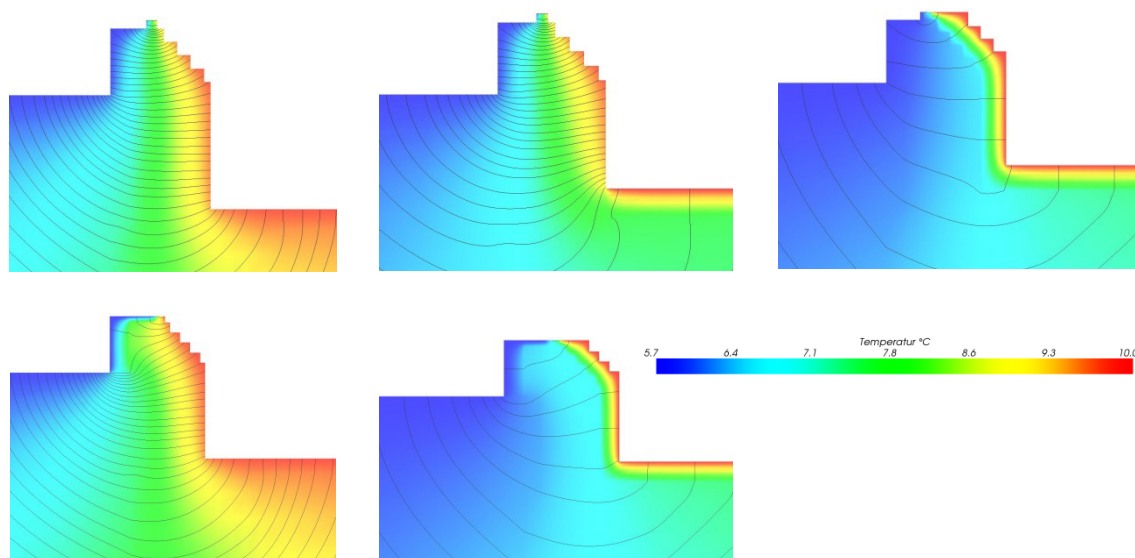


Abbildung 104: Wärmestrom (Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 0,2 W/m) und Falschfarben-Darstellungen der Varianten 1-5 (jeweils von links nach rechts) zur Simulation Sanierung Keller / Erdreich (Situation B)

¹⁹⁶ Heizsaisonmittelwert für Wien, Floridsdorf; gemittelt von Anfang Oktober bis Ende April; Quelle. Klimadatenrechner

¹⁹⁷ Lt. DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau; keine Kondensationsgefahr wenn f_{RSi} Wert > 0,69

¹⁹⁸ Lt. DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau; keine Gefahr der Schimmelbildung wenn f_{RSi} Wert > 0,71

Die Falschfarben- und Wärmestrombilder (Abbildung 104) zeigen die geringsten Temperaturunterschiede und Schwachstellen bei Variante 5. Wird der Keller als Aufenthaltsraum genutzt, so ist aus Energieeffizienz wie auch Komfort-Gründen jedenfalls die Vollsanierung anzustreben.

Generell zeigen die Ergebnisse, dass bei Sanierungsvorhaben jedenfalls beispielhaft kritische Stellen analysiert werden sollten. Mit dem Nachweis einer 3-dimensionalen Simulation kann Kondensation in und an der Oberfläche von Bauteilen ausgeschlossen werden und der zusätzliche Wärmestrom über die analysierten Bereiche verringert werden. Besonders bei historischen und denkmalgeschützten Gebäuden, wo eine außenliegende Dämmung aus rechtlichen und / oder architekturhistorischen Gründen nicht in Frage kommt, ist eine detaillierte Analyse der kritischen Zonen unbedingt zu empfehlen, um durch Innendämmung etwaig verursachte Bauschäden durch Kondensat- oder Schimmelbildung zu vermeiden. Eine Schimmelbildung ist vor allem auch aus gesundheitlichen Aspekten in Klassenzimmern besonders gefährlich - siehe dazu auch Abschnitt 2.3 ‚Komfortansprüche aus physiologischer Sicht‘.

BEWERTUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN

Im Projekt SchulRen+ wurde, aufbauend auf den entwickelten Konzepten und den Ergebnissen der energetischen Bewertung, eine umfassende Lebenszykluskosten-Analyse durchgeführt. Diese beinhaltet die geschätzten Errichtungskosten, Betriebskosten, Instandhaltungskosten, Abbruch- bzw. Umnutzungskosten und Erträge aus der Energiebereitstellung sowie mögliche CO₂-Gutschriften. Es wurden vor allem jene Parameter untersucht, die sich in den Sanierungsvarianten hinsichtlich energierelevanter Aspekte unterscheiden.

Die Analysen sind mit einer Reihe von Unsicherheiten verbunden. Diese beziehen sich einerseits auf die Einschätzung zukünftiger technologischer, energiepolitischer oder ökonomischer Entwicklungen und andererseits auf die Planung, die in diesem Projekt nicht detailliert ausgeführt wurde (das Projekt befand sich zum Zeitpunkt der Analyse in der Konzeptphase) (Dubisch, et al. 2012).

Im Folgenden werden zusammenfassend die Vorgehensweise in der Berechnung sowie die wesentlichen Ergebnisse des Projekts wiedergegeben.

In einem ersten Schritt wurden dabei die Kosten definiert, die für die Analyse der Lebenszykluskosten bei ganzheitlichen Sanierungen im Schulbau relevant sind.

Die Kostengruppen sind nach ÖNORM B 1801-1 dargestellt. Jene Kostengruppen, die in einer Schulsanierung von Bedeutung sind, wurden in der Übersicht hervorgehoben, siehe Abschnitt 8.6 ‚Lebenszykluskosten Berechnungstabellen 1‘ im Annex.

Die relevanten Kosten finden sich in folgenden Kostengruppen: 1D Abbruch, Rückbau / 3C Wärmeversorgungsanlagen / 3D Klima-/Lüftungsanlagen / 3F Starkstromanlagen / 3G

Fernmelde-, Informationstechnische Anlagen / 3H Gebäudeautomation / 4B Dachverkleidung / 4C Fassadenhülle / 4D Innenausbau / 7C Planungsleistung.

In Schritt zwei wurden drei unterschiedliche Sanierungskonzepte bewertet. Die Varianten beziehen sich auf die in Abschnitt 4.3 definierten Konzepte. Analog der energetischen Bewertung wurde für die Bewertung der Lebenszykluskosten ausschließlich **Konzept 1 Standard-Sanierung** in verschiedenen Varianten analysiert, da die Konzepte 2 (Standard+) und 3 (Innovativ) von den im Projekt involvierten Stakeholdern im Vorfeld von einer Realisierung ausgeschlossen wurden.

Die Varianten für die Lebenszykluskostenberechnung basieren auf einer umfassenden energetischen Sanierung wie in Abschnitt ‚Energetische Bewertung‘ in Variante C1 dargestellt. Diese Variante wurde auch als Ausgangsbasis für die Bilanzierung in einem Plus-Energie Szenario herangezogen und weist demzufolge simulierte Daten für Energieproduktion und Energiebedarfswerte auf.

Die hier dargestellten Berechnungen der Lebenszykluskosten sind in drei Varianten unterteilt. Der wesentliche Unterschied liegt in der Art der Berücksichtigung von Lüftung und Sowieso-Kosten, die im Projekt wie folgt beschrieben werden:

„...Die Lebenszykluskosten-Analyse energetisch umfassender Sanierungen von Schulen zielt auf die Berechnung der Energieeinsparungen im Betrieb ab, die durch energierelevante Investitionen erreicht werden können. Es erfolgt eine Betrachtung von Investitionskosten und Folgekosten, die mit der Investition unmittelbar zusammenhängen. Für das Ergebnis ist entscheidend, welche Investitionskosten berücksichtigt werden. Kritische Faktoren sind die Lüftung und die Sowieso-Kosten.

Eine Lüftungsanlage ist für die Bereitstellung einer adäquaten Luftqualität, wie sie zur Erfüllung des Gebäudezwecks erforderlich ist, notwendig.

Unter Sowieso-Kosten versteht man Kosten, die im Zuge einer Sanierung z.B. für Arbeiten an der Fassade anfallen, ohne Ausführung einer Wärmedämmung (z.B. Baustelleneinrichtung für das Anstreichen der Fassade). Wird eine Lüftungsanlage in die Amortisationsrechnung energierelevanter Investitionen mit einbezogen, so ergibt sich eine Verlängerung der Amortisationszeit eines Maßnahmenpakets von mehreren Jahren (bis mehr als 30 Jahre). Die Sowieso-Kosten der Wärmedämmung einer Fassade können 50 % der Gesamtsumme für die Fassadensanierung betragen; wenn sie nicht abgezogen werden, verlängert das die Amortisationszeit maßgeblich...“ (Dubisch, et al. 2012).

Die detaillierte Beschreibung der Varianten ist in Tabelle 40 dargestellt.

Variante 1 ⇨ Inkludiert Sowieso-Kosten (Wärmedämmung); inkludiert Lüftungssysteme und Innenraumgestaltung

Variante 2 ⇨ Exkludiert Sowieso-Kosten (Wärmedämmung); inkludiert Lüftungssysteme und Innenraumgestaltung

Variante 3 ⇨ Exkludiert Sowieso-Kosten (Wärmedämmung); exkludiert Lüftungssysteme und Innenraumgestaltung

Beschreibung der Varianten zur Berechnung der Lebenszykluskosten

BESCHREIBUNG	VARIANTE 1	VARIANTE 2	VARIANTE 3
Aufbauten ⇒ 20cm Wärmedämmverbundsystem Außenwand; Dämmung Decke, Kellerdecke	x	x	x
Fenster ⇒ alle Fenster werden getauscht	x	x	
Fenster ⇒ 1/3 aller Fenster werden getauscht			x
Lüftung ⇒ Dezentrale Lüftungssysteme in allen Klassen in Kombination mit Fensterlüftung (hybride Lüftung)	x	x	
Innenraumgestaltung ⇒ Umfassende Maßnahmen (Clustering, neue Pädagogik) werden umgesetzt	x	x	
Kosten ⇒ Für die Lüftungssysteme werden die vollen Kosten angesetzt	x	x	
Kosten ⇒ Für das Wärmedämmverbundsystem werden die vollen Kosten angesetzt	x		
Kosten ⇒ Für das Wärmedämmverbundsystem werden die „Sowieso-Kosten“ abgezogen und damit die Hälfte der vollen Kosten angesetzt		x	x

Tabelle 40: Beschreibung der Varianten zur Berechnung der Lebenszykluskosten nach (Dubisch, et al. 2012)

Die einzelnen Varianten wurden basierend auf der oben ausgeführten Betrachtungsweise in die unterschiedlichen Kostengruppen aufgeteilt und bewertet. Eine Übersicht der Kostenaufstellung ist in Abschnitt 8.6 / Lebenszykluskosten Berechnungstabellen 2 im Annex zu finden.

Im dritten Schritt werden die Kennwerte und Kostenbilanz nach der Sanierung berechnet. Die Analyse basiert auf den in Abschnitt Energetische Bewertung simulierten und in Abschnitt Plus-Energie Szenario / Bilanzierung zusammengefassten Energiekennzahlen. In Tabelle 35 sind die wesentlichen Energiekennzahlen der Bilanzierung des Plus-Energie-Szenarios zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Kostenbilanz (Tabelle 41) zeigen eine jährliche Energiekosteneinsparung von €52.014. Die nach der Sanierung anfallenden Energiekosten werden mit €9.616 berechnet.

Berücksichtigt man darüber hinaus auch die externen Kosten für CO₂¹⁹⁹, ergeben sich weitere €4.134 an jährlichen Einsparungen (Tabelle 42).

Kennwerte und Kostenbilanz nach Sanierung

KENNWERTE NACH SANIERUNG			
Wärme	Einsparung in €/a	MWh/a	Erläuterung
Energiekosten Fernwärme vor Sanierung	47.390 €	677,0	
Energiekosten Gas vor Sanierung	3.630 €	60,5	
Summe Energiekosten Wärme	51.020 €	737,5	
Jährlich eingesparte Fernwärme	36.484 €	521,2	
Jährlich eingespartes Gas	3.630 €	60,5	
Jährliche Produktion solare Wärme (ersetzt Gas)	0 €	10,5	ST ist nicht in Kosten abgebildet
Einsparung Kosten Wärme	40.114 €	581,7	
Ausgaben Wärme	10.906 €	155,8	
Strom	Einsparung in €/a	MWh/a	Erläuterung
Stromkosten vor Sanierung	11.900 €	70,0	
Jährlich eingesparter Strom	5.950 €	35,0	Stromtarif
Eigenverbrauch Strom aus PV	5.950 €	35,0	Stromtarif
Jährliche zusätzliche Produktion PV	1.290 €	25,8	Einspeisetarif
Einsparung Kosten Strom	11.900 €	95,80	
Ausgaben Strom	-1.290 €	-25,80	
Energiekosteneinsparung nach Sanierung p.a.	52.014 €		
Energiekosten nach Sanierung p.a.	9.616 €		

Tabelle 41: Kennwerte und Kostenbilanz nach Sanierung; adaptiert nach (Dubisch, et al. 2012)

Kennwerte Externe Kosten CO₂

EXTERNE KOSTEN CO ₂	Einsparung in €/a
Externe Kosten CO ₂ vor Sanierung	4.318 €
Externe Kosten CO ₂ nach Sanierung	-184 €
Einsparung externe Kosten CO ₂	4.134 €

Tabelle 42: Kennwerte externe Kosten CO₂ nach (Dubisch, et al. 2012)

Im vierten und letzten Schritt werden die Energiekosteneinsparungen den Investitionskosten in einer Barwertberechnung, die eine dynamische Berechnung der Amortisationszeit berücksichtigt, gegenübergestellt. Die Einzahlungen werden für die drei Varianten jeweils aus der Differenz der Energiekosten vor und nach der Sanierung und der Differenz der CO₂-Kosten vor und nach der Sanierung (bei Varianten mit Berücksichtigung von CO₂) zusammengerechnet. Die Auszahlungen fassen die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten, die durch die Investitionen verursacht werden, zusammen. Die Entsorgungskosten werden wegen des geringen Anteils an der Gesamtsumme in dieser Berechnung nicht berücksichtigt (Dubisch, et al. 2012).

¹⁹⁹ Für die Berechnungen wird nach (Dubisch, et al. 2012) ein CO₂ Wert von 70€ / t CO₂ angesetzt

In Tabelle 43 sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst. Aus den Berechnungen wird ersichtlich, dass sowohl die Unterschiede hinsichtlich Berücksichtigung von Sowieso-Kosten und Kosten der Lüftungsanlage als auch die Berücksichtigung der Anrechnung von CO₂-Kosten das Ergebnis vor allem in der Amortisationszeit stark beeinflussen.

Lebenszykluskosten-Analyse im Vergleich der drei Varianten

LEBENSZYKLUSKOSTEN			
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Investitionskosten in €	1.567.882 €	1.329.082 €	786.818 €
Energetische Amortisationszeit	Jahre	Jahre	Jahre
ohne CO ₂ -Kosten und CO ₂ Gutschrift	36	30	16
mit CO ₂ -Kosten und CO ₂ Gutschrift	33	28	14
Zinssatz	3,00%	3,00%	3,00%
Kreditlaufzeit	25	25	25
Annuitätsfaktor	0,057	0,057	0,057
Jährliche Rückzahlung in €	90.040 €	76.326 €	45.185 €

Tabelle 43: Lebenszykluskosten-Analyse im Vergleich der drei Varianten nach (Dubisch, et al. 2012)

Es wird deutlich, dass eine umfassende energetische Sanierung, die synergetisch mit neuen Raumanforderungen im Schulbau umgesetzt wird, trotz signifikanter Energieeinsparung eine lange Amortisationszeit hat.

Jedenfalls ist in eine ganzheitliche Betrachtung die Qualität der Sanierung miteinzubeziehen: auch wenn Variante 3 die kostengünstigste mit der kürzesten Amortisationszeit ist kann diese Variante qualitativ nicht an die Varianten 1 und 2 – hier sind jeweils die im Schulbau so notwendigen Lüftungsanlagen vorgesehen – heranreichen. Die Energieeffizienz bildet, ebenso wie die räumliche Adaptierung, einen wesentlichen Aspekt in der Sanierung. Der gesamte Mehrwert einer umfassenden energetischen Sanierung wird aber auch im Innenraumkomfort deutlich. Die adäquate Lernumgebung stellt sich durch eine zeigemäße Architektur ebenso wie durch ein gutes Innenraumklima (Licht, Luft, Akustik) ein.

Umso mehr sind - wie in Abschnitt 2.2 beschrieben - strukturelle Änderungen des aktuellen Finanzierungssystems im Schulbau gefordert, um umfassende Schulsanierungen überhaupt erst zu ermöglichen und um das Optimierungspotential in der Schulsanierung synergetisch auszuschöpfen.

5. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war die synergetischen Potentiale in der Schulsanierung aufzuzeigen und damit einen Beitrag zu einem besseren Verständnis von energetisch und architektonisch umfassenden Sanierungen im Schulbau zu leisten.

Die Analyse der **spezifischen Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen (Kapitel 2)** beschreibt die Entwicklungspotentiale in den aktuellen Strukturen und zeigt auf, dass die Veränderung der Lernstrukturen bereits stattgefunden hat. Der Frontalunterricht, für den die alten Klassenräume entworfen wurden, ist nur mehr ein kleiner Teil des pädagogischen Konzepts. Gruppenarbeit, Einzelarbeit, Projektarbeit, Freizeit, Ruhezeit oder Unterricht wechseln einander ab. Kinder benötigen ein breites Spektrum an baulichen Charakteristika: von Ruhe und Rückzug, Kommunikation und Interaktion bis zu hoher Mobilität durch Bewegung. Um den unterschiedlichen (Lern)-Situationen gerecht zu werden, braucht es auch neue räumliche Konzepte, die die differenzierten Anforderungen erfüllen. In der alten Bausubstanz sind die Raumstrukturen noch nicht den neuen Lernstrukturen angepasst. Wie am Beispiel von Wien ersichtlich, sind im Bestand, vor allem in den Gründerzeitbauten mit ihren formalen Raumstrukturen, hohe Potentiale für ganzheitliche Sanierungen gegeben.

Entsprechend den unterschiedlichen Varianten, die im Zuge der Arbeit erstellt wurden, können unterschiedliche Aspekte verbessert werden. Dazu zählen die physiologischen Anforderungen der Nutzer hinsichtlich thermischer Behaglichkeit, Raumluftqualität, Licht und Akustik. Diese werden im Bestand in den meisten Fällen nicht zufriedenstellend erfüllt. Zusätzlich zur Verbesserung des Innenraumkomforts mit der verbundenen Eliminierung von nachteiligen Effekten (Konzentrationsstörungen und verminderter Lernerfolg) durch eine schlechte Luftqualität in den Klassenräumen, kann eine Adaptierungen der Heizungs-Lüftungs- und Regelungstechnik einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz leisten.

Im Zuge der Arbeit wurden auch die organisatorischen Rahmenbedingungen in die Überlegungen der Konzepte einbezogen. Hier zeigt sich, dass die Barrieren für umfassende Sanierungen im Schulbau zur Ausschöpfung der Potentiale substantiell sind. Die Zuständigkeiten sind sowohl in der Schulverwaltung als auch in der Errichtung und Erhaltung vielfältig und komplex. So wird z.B. in Wien das Zentralbudget von der Stadt Wien verwaltet, die Erhaltung der Schulen findet sich im Bezirksbudget und für die Sanierung sind zumindest vier unterschiedliche Magistrate zuständig. Eine Priorisierung der Schulbauten hinsichtlich des Sanierungspotentials über das gesamte Portfolio der Stadt Wien gibt es nicht. Die gesamte Betrachtungsweise bezieht sich ausschließlich auf die Substanzerhaltung.

Eine Verwaltungsreform, die eine Zusammenfassung der Zuständigkeiten für die Errichtung, den Betrieb und die Erhaltung in einer zentralen Kompetenzstelle beinhaltet, würde eine effiziente Betrachtung des gesamten Portfolios erlauben. Damit wäre eine notwendige Voraussetzung für eine gebündelte Steuerung der finanziellen und

administrativen Ressourcen geschaffen. Dies würde auch eine Betrachtung der Lebenszykluskosten ermöglichen und damit die Trennung der Errichtungs- von den Erhaltungskosten – eine Barriere in der langfristigen Budgetplanung – aufheben. Alternative Finanzierungsmodelle wie z.B. Intracting, Anreizsysteme oder Zusatzfinanzierungen durch Fördermittel könnten damit im gesamten Portfolio angewendet werden.

Die einzelnen Schulen im Portfolio müssen in Folge hinsichtlich ihres Potentials einer ganzheitlichen Sanierung analysiert werden. Um umfassende replizierbare Konzepte und eine holistische Betrachtung der synergetischen Effekte von energieeffizienten Maßnahmen und architektonischen Verbesserungen zu ermöglichen, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein **methodischer Ansatz (Kapitel 3)** entwickelt.

Bei der Erstellung von Energiekonzepten sollten grundsätzlich die drei folgenden Schritte zur Anwendung kommen, die sowohl auf den Neubau als auch auf die Sanierung anwendbar sind:

Schritt 1: Passive Maßnahmen: Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs

Schritt 2: Gebäudetechnik: Einbindung effizienter Gebäudetechnik

Schritt 3: Erneuerbare Energien: Architektonische und Systemtechnische Integration.

Begleitmaßnahmen (z.B. Finanzierungsformen, Einbindung der Stakeholder) müssen Teil des gesamten Prozesses sein

Aufbauend auf der prinzipiellen Methodik, die bei der Erstellung von Energiekonzepten angewendet werden soll, wurde diese in modulare Teilbereiche aufgliedert und speziell auf die Schulsanierung adaptiert. Damit soll der unterschiedlichen Komplexität verschiedener Sanierungsprojekte Rechnung getragen und die Synergien und Wechselwirkungen zwischen energetischer Sanierung und neuen Raumanforderungen dargestellt werden. Den drei Schritten des Energiekonzepts sind Maßnahmen in jeweils vier Themenbereichen zugeordnet: Fassaden / Hüllflächen; Grundriss; Baukörper und Statisches System. Begleitmaßnahmen stellen in der Schulsanierung auf Grund der komplexen Strukturen einen besonderen Stellenwert dar und sind in einer eigenen Maßnahmengruppe beschrieben.

Unterschiedliche Innovationsgrade in der Konzepterstellung lassen sich dabei durch verschiedene Maßnahmenbündel darstellen. Für ein Projekt kann mit dieser Methodik eine Zusammenstellung von Maßnahmen für eine Standard-Sanierung, eine Standard-Plus Sanierung oder eine innovative Sanierung basierend auf einem Zielbild definiert werden.

Die mit dieser Methodik entwickelten Konzepte können von den Planern energetisch und budgetär bewertet und räumlich umgesetzt werden. Ziel ist es, mit dieser Methodik den Planern und Stakeholdern - und im Idealfall, wie oben beschrieben, einer zentralen Kompetenzstelle, die für die Errichtung und Erhaltung der Schulen verantwortlich zeichnet - relevante Entscheidungsgrundlagen zu liefern, um den Gesamtprozess in der Schulsanierung wesentlich unterstützen.

Im Zuge eines konkreten **Beispiels (Kapitel 4)** einer für den Wiener Gründerzeitbestand typischen Schule wurde die entwickelte Methodik demonstriert und auf Anwendbarkeit hin überprüft. Die im Forschungsprojekt SchulRen+ entwickelten Konzepte wurden den jeweiligen Maßnahmengruppen der Methodik zugeordnet und bewertet.

Die Konzepte wurden in Folge energetisch und hinsichtlich Lebenszykluskosten beispielhaft analysiert. Die thermisch-dynamischen Berechnungen zeigen, dass durch umfassende Sanierungsmaßnahmen substantielle energetische Einsparungen erzielt werden können. Die zur Verfügung stehenden Hüllflächen reichen aus, um mit dem Einsatz erneuerbarer Energien primärenergetisch positiv zu bilanzieren. Aus der Analyse der Lebenszykluskosten wird deutlich, dass eine umfassende energetische Sanierung, die synergetisch mit neuen Raumanforderungen im Schulbau umgesetzt wird, trotz signifikanter Energieeinsparung eine lange Amortisationszeit hat. Finanzielle Anreize durch niedrige Amortisationszeiten sind bei den aktuellen Energiepreisen nicht zu erwarten.

Das Beispiel veranschaulicht, dass die in der gegenständlichen Arbeit entwickelte Methodik für ein reales Projekt anwendbar ist. Die Problemstellungen des konkreten Bauobjekts, die sich auf Grund der Gebäudeanalyse ergeben, können mit den einzelnen Konzepten je nach gewünschtem Innovationsgrad behandelt und mit gezielten Maßnahmen erkennbare Effekte erzielt werden.

Durch diesen Proof-of-Concept kann als Fazit abgeleitet werden, dass aus technischer Sicht reale Wirkungen durch die Maßnahmen aktiviert werden können und die entwickelte Methodik zielführend als Entscheidungsgrundlage für die relevanten Stakeholder in der Schulsanierung eingesetzt werden kann.

Darüber hinaus geht aus dem Beispiel Wien klar hervor, dass strukturelle Änderungen des Verwaltungs- und Finanzierungssystem unabdingbar sind, um umfassende Schulsanierungsprojekte umzusetzen. Die aktuelle Verwaltungsstruktur der Stadt Wien erschwert nachhaltig wirksame Maßnahmen für umfassende Schulsanierungen.

Die Finanzierung der Errichtungs- als auch der Erhaltungsmaßnahmen müssen zusammengeführt werden, damit Budgetentscheidungen auf Basis von Lebenszykluskosten gesetzt werden können. Ebenso ist eine Bündelung der Schulen in einem Portfolio notwendig um Prioritäten hinsichtlich des Standorts, der energetischen Optimierung und des adaptierten pädagogischen Raumprogramms aus einer ganzheitlichen Perspektive zu setzen.

Eine Reform der Strukturen in diesem Kontext würde ermöglichen, dass das Potential ausgeschöpft werden kann, welches die Schulsanierung hinsichtlich Energie, Architektur und Pädagogik zu bieten hat.

6. Schlussfolgerungen

Auf Grund der historischen Entwicklung ist im Gebäudebestand noch eine Vielzahl an Schulbauten in Betrieb, die sich an einem nicht mehr zeitgemäßen Raumkonzept orientieren. Die Nutzung der Schulen hat sich durch neue Lernkonzepte erkennbar verändert und bedingt daher auch adaptierte räumliche Gestaltungsformen.

Substanzerhaltung alleine kann nicht das gesamte Potential ausschöpfen, das eine holistische Betrachtungsweise des Schulgebäudebestands hinsichtlich zeitgemäßer Architektur, adäquater Lernumgebung und energierelevanter Faktoren bieten kann. Bei der Betrachtung der Einzelobjekte im Gesamtportfolio der Schulbauten einer Stadt oder Region lassen sich unterschiedliche Maßnahmenpakete definieren, die je nach Zielsetzung, der budgetären Möglichkeiten und dem Zeithorizont zur Anwendung kommen können.

Zusammenfassend können die im Folgenden aufgelisteten grundlegenden Empfehlungen aus der Arbeit gegeben werden:

1. Auf Grund der geänderten Lernkonzepte muss das Raumkonzept bei Sanierungen im Schulbau aus Sicht der architektonischen und energetischen Anforderungen in Kombination mit der Substanzerhaltung angepasst werden. Die Schulen der Zukunft sollen Lebensräume als auch Forschungsräume für die Schüler sein und flexibel genutzt werden können.
2. Entscheidungsgrundlagen für ganzheitliche Sanierungen müssen auf Basis eines methodischen Ansatzes geschaffen werden. Maßnahmengruppen müssen Substanzerhaltung, energetische Optimierung und räumliche Adaptierung synergetisch abbilden, isolierte Vorgehensweisen sind zu vermeiden.
3. Angesichts der komplexen administrativen Rahmenbedingungen für Sanierungsprojekte muss zusätzlich zu den technischen Aspekten eine Änderung der strukturellen Rahmenbedingungen erfolgen. Dazu zählen die Zusammenführung der Schulen in einem Portfolio für die gesamte Stadt und die Bündelung der Finanzierung, Kompetenzen und Entscheidungen auf Basis einer ganzheitlichen Sicht in einer zentralen Kompetenzstelle. Konkret müssen dadurch folgende Prozessschritte verbessert werden:
 - Priorisierung des Portfolios hinsichtlich Standort und Potential. Die Dringlichkeit der Substanzerhaltung muss in Kombination mit ganzheitlichen Sanierungen umgesetzt werden. Damit kann eine größtmögliche Wirkung erzielt und kleinteilige Vorhaben sowie Zersplitterung auf weniger effektive Maßnahmen vermieden werden.
 - Die Finanzierung muss auf Basis von Lebenszykluskostenmodellen erfolgen. Die Errichtung und Erhaltung müssen in einer gemeinsamen Verwaltung gebündelt werden. Das schafft Kostentransparenz und eine ganzheitliche Betrachtung der Investitionen, von Errichtungskosten bis zu den Erhaltungs- und Entsorgungskosten. Darüber hinaus können damit alternative

- Finanzierungsformen, wie z.B. Intracting oder Fördermittel, effizient genutzt werden, um Sanierungen über die Substanzerhaltung hinaus zu finanzieren.
- Pilotprojekte müssen im Portfolio identifiziert und die Umsetzung von beispielhaften, hoch-innovativen Sanierungsprojekten muss forciert werden. Die Projekte haben einerseits eine hohe Signalwirkung, andererseits können für weiterführende Forschungen neue Kombinationen von Technologien und Materialien für Test- und Monitoringzwecke in Teilbereichen angewendet werden.
 - Die Einbindung aller Stakeholder für Betrieb und Umsetzung muss ab Beginn jedes Sanierungsprozesses erfolgen. Durch das Einholen der spezifischen Anforderungen aller beteiligten Gruppen werden eine Stärkung der Akzeptanz und eine Optimierung des Nutzungsverhaltens erzielt.

Wie zu Beginn dieser Arbeit beschrieben, stellt die Sanierung des Gebäudebestands eine der wesentlichsten Aufgaben zur Erreichung der Klimaziele dar. Eine nachhaltige Sanierung beinhaltet - wie die Analysen zeigen - jedoch nicht nur Adaptierungen, die den Anforderungen hinsichtlich Substanzerhaltung gerecht werden, sondern auch Maßnahmen, die der Energieeffizienz, Einbindung von erneuerbaren Energietechnologien sowie den neuen Raumstrukturen durch adaptierte – nach innen und außen gerichtete – Funktionalitäten und zeitgemäßer Architektur entsprechen. Schulbauten spielen in diesem Kontext eine besondere Rolle: Sie sind im Bestand hauptsächlich veraltet und entsprechen nicht mehr neuen pädagogischen Anforderungen. Gutes Lernen und Lehren bedingt auch eine gute Lernumgebung – die Sanierung eröffnet Chancen dies anzustoßen.

Schulen kommt durch ihre in der Öffentlichkeit stark wahrgenommene Sichtbarkeit eine besondere Vorbildwirkung zu. Eine Investition in unsere Schulen ist eine Investition in die Zukunft. Das Potential sollte von den Stakeholdern genutzt werden.

7. Literaturverzeichnis

- AEA, Austrian Energy Agency. *Integrated planning for building refurbishment taking life cycle cost into account*. Forschungsbericht, Wien: AEA, Austrian Energy Agency, 2005.
- AEE Intec et al. *School Vent Cool, Ventilation, cooling and strategies for high performance school renovations, International Report*. Forschungsbericht, Gleisdorf: School Vent Cool Projekt, 2013.
- Ahnert, C. D., and H. J. Bloedow. *Typenschulbauten in den neuen Ländern: Modernisierungsleitfaden*. Richtlinie, Berlin: Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 1999.
- Ambeva-Szepessy, L. *User interaction with environmental control systems in an educational office building*. Wien: Technische Universität Wien, 2007.
- Amtmann, M., A. Lechner, T. Mach, T. Selke, and B. Unterberger. *Solarenergie Urban - Analyse und Bewertung der energetischen, ökonomischen und architektonischen Qualität urbaner Solarenergiebauten*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012.
- Autonome Provinz Bozen - Südtirol. *Schulbaurichtlinien: Autonome Provinz Bozen - Südtirol*. Richtlinie, Bozen: Autonome Provinz Bozen - Südtirol, 2008.
- Baierl, A., and M. Kaindl. *Kinderbetreuung in Österreich, Rechtliche Bestimmungen und die reale Betreuungssituation, Working Paper Nr. 77 / 2011*. Studie, Wien: Österreichisches Institut für Familienforschung, Universität Wien, 2011.
- Bartels, O. *Metropole: Bilden*. Berlin: Jovis [u.a.], 2009.
- Beckel, I. *Schulen in Deutschland, Neubau und Revitalisierung*. Stuttgart: Krämer, 2004.
- Beckera, R., I. Goldbergera, and M. Paciukb. "Improving energy performance of school buildings while ensuring." *Building and Environment* 42, 2006: 3261-3276.
- Berger, W. *Schulbau von heute für morgen*. Göttingen [u.a.]: Musterschmidt, 1960.
- Bitzinger, F. *Vergleich von geförderten Sanierungskonzepten*. Wien: Technische Universität Wien, 2008.
- Bleyl, J. W., D. Schinnerl, K. Vollrad, K. Leutgöb, and M. Varga. *IEA Task 16 / Comprehensive Refurbishment of Buildings with Energy Performance Contracting*. Graz: Graz Energy Agency, 2007.
- BMLFUW. *Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2012*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2007.
- BMVBS. *Energetisches Sanieren Gestalten, Leitfaden, Baubestand nachhaltig weiterentwickeln*. Leitfaden, Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, 2010.

- BMWFJ und BMLFUW. "Energierstrategie Österreich, Maßnahmenvorschläge." Wien, 2010.
- Böhme, J. *Schularchitektur im interdisziplinären Diskurs*. Wiesbaden: VS, Verlag für Sozialwissenschaften, 2009.
- Bointner, R., et al. *Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012.
- Boos, R., et al. *Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, Physikalische Faktoren, Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter*. Richtlinie, Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2011.
- Brandl, D., T. Mach, M. Grobbauer, and C. Hochenauer. "Analysis of ventilation effects and the thermal behaviour of multifunctional facade elements with 3D CFD models." *Elsevier, Energy and Buildings*, September 28, 2014: 305-320.
- Brauns, M. *Ein Plan für Schulen der Zukunft: Neue Qualitätsmaßstäbe und zeitgemäße Arbeitsweisen für den Bau, die Sanierung und die Ausstattung*. Norderstedt: Books on Demand, 2007.
- BRE. *BREEAM Education 2008*. Watford: BRE Global Ltd., 2012.
- BRE. *Good Practice Guide 207 / Cost-effective low energy buildings in further and higher education*. Richtlinie, BRE, 1997.
- Budde, F., and H. W. Theil. *Schulen, Handbuch für die Planung und Durchführung von Schulbauten*. München: Callwey, 1969.
- Bundesdenkmalamt Hofburg, Abteilung für Architektur und Bautechnik. *Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal*. Richtlinie, Wien: Bundesdenkmalamt, 2011.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *B 005-060 – Vereinbarung Art. 15a B-VG; Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2009.
- Chamley, F., P. Fleming, T. Dowsett, M. Fleming, M. Cook, and G. Mill. "Engaging schools in the science of low-energy buildings ." *Public Understanding of Science 21(7)*, 2010: 875-890.
- Chramosta, W. M. *Das neue Schulhaus; Schüleruniversum und Stadtpartikel; das Schulbauprogramm 2000 der Stadt Wien, eine erste Bilanz 1990 - 1996*. Wien: A.F. Koska, 1996.
- Crawley, D. B., J. W. Hand, M. Kummert, and B. T. Griffith. "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs." *Elsevier, Building and Environment, Volume 43, Issue 4*, 2008: 661-673.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union. *STANDPUNKT (EU) Nr. 10/2010 DES RATES IN ERSTER LESUNG im Hinblick auf den Erlass einer Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die*

- Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung); Amtsblatt der Europäischen Union (2010/C 123 E/04)*. Brüssel: Europäische Union, 2010.
- Dequaire, X. "A Multiple-Case Study of Passive House Retrofits of School Buildings in Austria." In *Nearly Zero Energy Building Refurbishment*, by Fernando Pachero Torgal, Marina Mistretta, Arturas Kaklauskas, Claes G. Granqvist and Luisa F. Cabeza, 253-278. London: Springer Verlag, 2013.
- Ding, G. K. *Sustainable construction—The role of environmental assessment tools*. Sydney: Elsevier / Journal of Environmental Management, 2007.
- Domenig-Meisinger, I., and A. Böhm. "Sustainable Buildings Construction Products & Technologies." *Renovation to Plus-Energy-Standard Schools - Rainbach im Mühlkreis / Austria*. Graz: AEE Intec, TU Graz, 2013. 261-268.
- Dubisch, F., S. Geissler, F. Gharakhanzadeh, D. Österreicher, B. Sandbichler, and T. Selke. *SchulRen+, Innovative Konzepte für Schulsanierungen auf Plus-Energie-Niveau*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012.
- Dudek, M. *Entwurfsatlas Schulen und Kindergärten*. Basel: Birkhäuser, 2011.
- Economidou, M. et al. *Europe's Buildings under the microscope, a country-by-country review of the energy performance of buildings*. Forschungsbericht, Brüssel: Buildings Performance Institute Europe, 2011.
- Eder, S. *Bauökologische Analyse und energetische Sanierung, sowie Zubau für das BORG Grieskirchen, OÖ*. Wien: Technische Universität Wien, 2002.
- Erhorn, H., T. Mroz, O. Morck, F. Schmidt, L. Schoff, and K. E. Thomasen. *The Energy Concept Adviser - A tool to improve energy*. Stuttgart: Elsevier / Energy and Buildings, 2007.
- Erhorn, H.; De Boer, J.; Kluttig, H. *Der Energy Concept Adviser, Ein neues Planungswerkzeug für Bauverwaltungen aus dem IEA – ECBCS – Annex 36*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2002.
- Erhorn-Kluttig, H. *IEA Annex 36 / Der Energy Concept Adviser / Powerpoint Präsentation*. Stuttgart: Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2002.
- Europäischer Rechnungshof. *Kostenwirksamkeit von im Rahmen der Kohäsionspolitik getätigten Investitionen in die Energieeffizienz, Sonderbericht Nr. 21 / 2012*. Forschungsbericht, Luxemburg: Europäischer Rechnungshof, 2012.
- Fechner, H., E. Sehnal, R. Haas, and A. Lopez-Polo. *Gebäudeintegrierte Photovoltaik Teil 1*. Wien: Klima- und Energiefonds, 2009.
- . *Gebäudeintegrierte Photovoltaik Teil 2*. Wien: Klima- und Energiefonds, 2009.
- Forster, J. *Räume zum Lernen & Spielen, Untersuchungen zum Lebensumfeld 'Schulbau'*. Berlin: VWB - Verlag für Wissenschaft und Bildung, 2000.
- Freyer, M. *Das Schulhaus - Entwicklungsetappen*. Passau: Wissenschaftsverlag Richard Rothe, 1998.

- Gary, G. "Alte Schule mit neuen Werten." *Forum Planen*, 10 2012.
- Geier, S., et al. *The way towards your cool school, a guideline to high performance school renovations in Europe*. Richtlinie, Antwerpen: School Vent Cool Projekt, 2012.
- Gintars, D. *Energetische Schulsanierung*. Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2002.
- Glattauer, N. *Die PISA-Lüge, wie unsere Schule wirklich besser wird*. Berlin: Ueberreuter, 2011.
- Goebel, T. "Die Psychologie des Lernens: Klassenträume." *Profil Wissen*, 2013: 48-53.
- Greml, A. *Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2008.
- Griffithsa, M., and M. Eftekharib. *Control of CO2 in a naturally ventilated classroom*. London: Elsevier / Energy and Buildings, 2007.
- Hammer, R., and P. Holzer. *Qualität und Quantität des Tageslichtangebots in Innenräumen, Potenzialstudie unter spezieller Berücksichtigung des strahlungsinduzierten thermischen Raumverhaltens und der Photophysiologie des Menschen*. Wien: Technische Universität Wien, 2009.
- Haselsteiner, E., M. Lorbek, G. Stosch, and R. Temel. *Handbuch Baustelle Schule, Ein Leitfaden zur ökologisch nachhaltigen Sanierung von Schulen*. Richtlinie, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2010.
- Haselsteiner, E.; Lorbek, M.; Stosch, G.; Temel, R. *Endbericht Baustelle Schule, Nachhaltige Sanierungsmodelle für Schulen*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2010.
- Heim, T., R. Fischer, and P. Schwehr. "Schulhauserneuerung - Typologie und Vorfabrikation." *Ökosan 2011*. Gleisdorf: Tagungsband Ökosan 2011, 2011.
- Helgi, J. *Architekturpsychologie des Schulbaus*. Diessen: Verl. NotaBene, 2008.
- Hellmayr, N. *Wien, Schulbau. Der Stand der Dinge*. Wien: Wien, Magistrat, 2003.
- Hermelink, A.H. *How deep to go: Remarks on how to find the cost optimal level for building renovation*. Köln: eceee - European Council for an Energy Efficient Economy, 2009.
- Hinträger, C. *Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden für öffentliche Volks- und Bürgerschulen: mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Österreich*. Wien: Graeser, 1887.
- Hofer, G., et al. *LCC-ECO, Ganzheitliche ökologische und energetische Sanierung von Dienstleistungsgebäuden*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2006.
- Höflinger, M., M. Lorbek, and I. Kovacic. *Resource Conserving Renovation, Energieeffiziente, Ressourcen erhaltende und differenzierte*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013.

- Hoppe, D. S., C. Jäger, C. Lang, C. Reinhold, J. Scheurecker, and J. Überlackner. *Schulbau in Österreich*. Wien: VÖ - [Verl. Österreich], 1996.
- Huber, L. *Die akustisch gestaltete Schule*. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 2002.
- IEA, International Energy Agency. *Energy Conservation in Buildings and Community Systems / Annex 15: Energy Efficiency in Schools*. Forschungsbericht, Torino: IEA International Energy Agency, 1991.
- IEE. *Länderübergreifende Untersuchung und Analyse von Energiesparmaßnahmen in Schulgebäuden*. Forschungsbericht, Senter Novem, 2007.
- IEE. *Vorläufiges Europäisches Best-Practice-Modell zur Unterstützung von Energiesparmaßnahmen an Schulen*. Forschungsbericht, Senter Novem, 2007.
- Jäger-Klein, C. *Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau: Schulbau in Österreich von 1996 - 2011*. Richtlinie, Wien, Graz: NWV, Neuer Wissenschaftlicher Verlag, 2012.
- Jenkins, D. P., A. D. Peacoc, and P. F. Banfill. "Will future low-carbon schools in the UK have an overheating problem?" *Building and Environment* 44, 2008: 490 - 501.
- Kentner, M., W. G. Mayer, and J. P. Schmidt-Thomsen. "Schulen - Primarstufe." *architekturwettbewerbe Nr. 70*, Juli 1972.
- Klasen, L. *Grundriss Vorbilder von Schulgebäuden*. Leipzig: Baumgärtner, 1884.
- Klima, M., J. Reiss, H. Erhorn, and M. Fluch. *Gebäude Sanieren / Schulen*. Karlsruhe: Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2006.
- Kluttig, H., Dirscherl, A., Erhorn, H. *Energieverbräuche von Bildungsgebäuden in Deutschland*. Deutschland, Stuttgart: Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2001.
- Knaack, U. et al. *imagine 06: Reimagining the envelope*. Rotterdam: 010 Publishers, 2012.
- . *imagine 07: Reimagining housing*. Rotterdam: 010 Publishers, 2012.
- Knoll, P., and M. Becker. *Energieeffiziente Gebäude durch Raum-, Anlagen- und Fassadenautomation*. Präsentation, Biberach: Hochschule Biberach, 2012.
- Knotzer, A., and S. Geier. *Erläuterungstext Kriterienkatalog Plus Energie Sanierung*. Gleisdorf: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2011.
- Kopf, T. et al. *Smart Cities Financing Handbook (vorläufige Endfassung)*. Forschungsbericht, Wien: Klima- und Energiefonds, 2013.
- Korjenic, A. *Anwendung von Gebäudesimulation zur Bewertung von Sanierungskonzepten*. Wien: Technische Universität Wien, 2003.
- Kristof, K., S. Nanning, and F. Merten. *Kommunales Intracting: Handlungsoptionen des Landes Nordrhein-Westfalen zur Verbreitung der Umsetzung von Intracting auf kommunaler und Landesebene' Studie 'Pilotprojekte Einsparcontracting und Intracting in NRW'*. Forschungsbericht, Wuppertal: Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 1998.
- Kroner, W. et al. "Tendenzen im Schulbau." *architekturwettbewerbe* 93, 1978.

- Kühhas, C. "energie:bau." *Fachmagazin für energieeffizientes Bauen und Sanieren*, 05 2013: 18-20.
- Kurz, D. *Schulhausbau. Der Stand der Dinge*. Basel: Birkhäuser, 2004.
- Kušar, M., M. Kovač, and J. Šelih. "Selection of Efficient Retrofit Scenarios for Public Buildings." *Procedia Engineering* 57, 2013: 651 - 656.
- Lang, G. et al. *Erste Passivhaus - Schulsanierung*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2004.
- Lange, H. *Schulbau und Schulverfassung der frühen Neuzeit*. Weinheim: Beltz, 1967.
- Leber, R. et al. "Schulbau in Wien, Heft 3, 4 / 2012." *Perspektiven*, 2012.
- Ledinger, S. *Energie- und Komfortanalyse für Bürokonzepte auf Basis dynamischer Simulation*. Wels: Fachhochschule Oberösterreich, 2008.
- Libermann, J. *Die heilende Kraft des Lichts, Der Einfluß des Lichts auf Psyche und Körper*. Bern: Scherz Verlag, 1993.
- Loga, T. et al. *Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2010.
- Lorbek, M., and G. Stosch. *Architekturhistorisch differenzierte, energetische Sanierung*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2003.
- . "Pädagogik und Raum." *Forum Planen*, 10 2009: 9-11.
- Lorbek, M., E. Haselsteiner, G. Stosch, and R. Temel. *"Baustelle Schule - Nachhaltige Sanierungsmodelle für Schulen"*. Projektbericht, Wien: Haus der Zukunft Programmlinie, 2010.
- MA34. *Raumbuch für Amtshäuser, Campus-Modelle, Kindergärten, Schulen der Stadt Wien, Version 01/2013*. Richtlinie, Wien: MA34 Bau- und Gebäudemanagement, 2013.
- Maderthaler, F. *Die Planung von Schulbauten der Stadt Wien*. Richtlinie, Wien: MA19 Architektur und Stadtgestaltung, 2002.
- Merten, R. *Entwicklung eines Verfahrens für die Sanierung und Adaptierung von Schulbauten und seine Anwendung am Beispiel des Bundes(real)gymnasiums Wasagasse*. Wien: Technische Universität Wien, 1992.
- Milles, U. *Hybride Lüftung verbessert Raumklima in Schulen*. Projektinformation, Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2010.
- Mydlarz, C. A., R. Conetta, D. Connolly, T. J. Cox, J. E. Dockrell, and B. M. Shield. "Comparison of environmental and acoustic factors in occupied school classrooms for 11-16 year old students." *Building and Environment* 60, 2013: 265-271.
- Mysena, M. et al. *Evaluation of simplified ventilation system with direct air supply through the facade in a school in a cold climate*. Oslo: Elsevier / Energy and Buildings, 2004.
- Nehrer, M. *Schulbau in Österreich von 1945 bis heute*. Horn: Berger, 1982.

- OIB Richtlinie 6, *Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Richtlinie, Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.
- ÖISS. *ÖISS Richtlinien für den Schulbau*. Richtlinie, Wien: ÖISS - Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau, 2012.
- ÖISS. *Ökologische Kriterien im Schulbau*. Forschungsbericht, Wien: ÖISS - Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau, 2009.
- Opp, G. et al. *Lebensraum Schule*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl., 2010.
- Österreicher, D. "Smart Cities Concepts and Solutions." *BIT's 1st Annual International Conference of Emerging Industry - 2013*. Shenzhen: BIT Congress Inc., 2013. 27.
- Peng, J., D. Wang, S. Lau, N. Yan, P. Jiang, and S. Wu. "An investigation of acoustic treatment for children in a classroom of an elementary school." *Applied Acoustics* 89, 2015: 42-45.
- Ramesohl, S., und K. Kristof. „Intracting - A better alternative to performance contracting?“ *ceeee Summer Study Proceedings*, 2001: 219-228.
- Rechnungshof. *Schulverwaltung: Lösungsvorschläge der Expertengruppe*. Richtlinie, Wien: Rechnungshof, 2009.
- Reiss, J. et al. *Besseres Lernen in energieeffizienten Schulen, Leitfaden*. Stuttgart: Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2010.
- Rittelmeyer, C. *Schulbauten positiv gestalten: wie Schüler Farben und Formen erleben*. Wiesbaden, Berlin: Bauverlag, 1994.
- Rosenberger, R., et al. *Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013.
- Salcher, A. *Der talentierte Schüler und seine Feinde*. Salzburg: Ecwin-Verlag, 2008.
- Sandbichler, B. *Revitalisierung mit S.A.M.* Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2004.
- Santamouris, M., et al. "Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation." *Energy and Buildings* 40, 2008: 1833 - 1843.
- Schmid, K., C. Ascher, and T. Mayr. *Reformpunkte zum österreichischen Schulgovernance-System*. Forschungsbericht, Wien: ibw Institut der Bildungsforschung der Wirtschaft, 2009.
- Schneider, B. *Schulsanierung mit solarer Nahwärme verknüpft*. Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2009.
- Schreiner, C., and S. Breit. *Standardüberprüfung Englisch, 8. Schulstufe, Bundesergebnisbericht*. Bundesergebnisbericht, Wien: Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur; Bundesinstitut Bifie, 2013.

- Spiel, C. "Bildung 2050 - Die Schule der Zukunft." In *Österreich 2050 Fit für die Zukunft*, by Rat für Forschung und Technologieentwicklung, 52-59. Wien: Holzhausen Verlag, 2013.
- Spiel, C., A. Schabmann, V. Popper, C. Kühn, and U. Pitro. *Lebensraum Schule: Innovationspotentiale in der österreichischen Schullandschaft. Projektabschlussbericht*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, 2010.
- Sprecher Mathieu, F. *Moderne Schulanlagen, umweltgerechte Bauplanung für eine neue Lernkultur*. Zürich: vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH, 2010.
- Staniaszek, D. et al. *A guide to developing strategies for building energy renovation*. Richtlinie, Brüssel: Buildings Performance Institute Europe, 2013.
- Stieldorf, K. "BauZ! Wiener Kongress für nachhaltiges Bauen." *GEBINT, Entwurfsbedingte Optimierungspotentiale in der Energiebilanz von Gebäuden*. Wien: IBO Verlag, 2011. 99-102.
- . *Solarhäuser heute*. Wien: Technische Universität Wien, 1997.
- Treberspurg, M. *Neues Bauen mit der Sonne*. Wien: Springer Verlag, 1994.
- Türk, A. et al. *Möglichkeiten von Domestic Offshore Projekten in Österreich*. Forschungsbericht, Graz: Johanneum Research und Wuppertal Institut, 2009.
- Välijärvi, J. "Finnish School System - Coherence, flexibility and individual support in curriculum and pedagogical practices in." In *Österreich 2050 Fit für die Zukunft*, by Rat für Forschung und Technologieentwicklung, 60-70. Wien: Holzhausen Verlag, 2013.
- Wagner, W. et al. *Energetische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhaus-Schulsanierung Schwanenstadt*. Forschungsbericht, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2009.
- Walden, R., and S. Borrelbach. *Schulen der Zukunft, Gestaltungsvorschläge der Architekturpsychologie*. Heidelberg, Kröning: Asanger, 2006.
- Wargocki, P., and D. P. Wyon. "Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective." *Building and Environment*, 59, 2013: 581-589.
- Watschinger, J. *Schularchitektur und neue Lernkultur; neues Lernen - neue Räume; ein Projekt des Pädagogischen Instituts für die deutsche Sprachgruppe, Bozen*. Bern: h.e.p. Verlag, 2007.
- Wegerer, P. *Beurteilung von Innendämmsystemen; Langzeitmessung und hygrothermische Simulation am Beispiel einer Innendämmung aus Schilfdämmplatten*. Wien: Technische Universität Wien, 2010.
- Werfring, V. *Auswahlkriterien von Haustechnik-Komponenten für die Plusenergiesanierung von Schulbauten*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien, 2012.

8. Annex

8.1. Verzeichnis Tabellen

Tabelle 1: Vergleich zwischen additivem und integrativem Ganztagsangebot in Schulen nach (Opp 2010).....	26
Tabelle 2: Barrieren und Verbesserungsansätze zur Umsetzung von energetisch optimierten Sanierungsvorhaben in Schulen der Stadt Wien; Erweitert nach (Dubisch, et al. 2012)	31
Tabelle 3: Aufgliederung der Schulverwaltung in Wien mit Hinblick auf Relevanz zur Errichtung, Erhaltung und Sanierung (Dubisch, et al. 2012)	36
Tabelle 4: Beschreibung der Renovierungstypen in der Potentialanalyse-Prioritäten-Matrix, übersetzt und adaptiert nach (Geier, Van Praet, et al. 2012)	37
Tabelle 5: Normen und Richtlinien für den Neubau und die Sanierung österreichischer Schulen; in Auszügen und Ergänzung nach (Dubisch, et al. 2012), (MA34 2013), (ÖISS, Ökologische Kriterien im Schulbau 2009), (Maderthaler 2002), (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2009), (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012).....	42
Tabelle 6: Heizwärmebedarf als Mindestanforderung an umfassende Sanierungen nach (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2009)	42
Tabelle 7: Mindestanforderung an Sanierungsmaßnahmen ohne umfassende Sanierung nach (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2009).....	42
Tabelle 8: Einbindung von erneuerbaren Energietechnologien in Gebäude: Genehmigungen und rechtliche Grundlagen für Wien.....	44
Tabelle 9: Wesentlichen Aufgaben der öffentlichen und privaten Partner in einem PPP Modell nach (Brauns 2007).....	49
Tabelle 10: Vorteile des Contracting und Intracting (Kristof 1998)	52
Tabelle 11: Maßnahmenkatalog im Rahmen des SUSA nach (Dubisch, et al. 2012).....	58
Tabelle 12: Zusatzpaket zum Maßnahmenkatalog im Rahmen des SUSA nach (Dubisch, et al. 2012)	59
Tabelle 13: Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität nach DIN 1946 / Teil 2 (1994).....	63
Tabelle 14: Klassifizierung der Innenraumluftqualität im Hinblick auf die CO ₂ -Konzentration nach (Boos, et al. 2011).....	65
Tabelle 15: ÖISS Empfehlungen zur natürlichen Belichtung von Klassenzimmern (ÖISS, ÖISS Richtlinien für den Schulbau 2012).....	68

Tabelle 16: Definitionen zur Bewertung einer angemessenen Tageslichtqualität im Innenraum nach (BRE 2012).....	69
Tabelle 17: Einfluss spezifischer Anforderungen auf bauliche Konsequenzen nach (Merten 1992)	80
Tabelle 18: Schutzziele der Nachhaltigkeit bezogen auf die Errichtung und den Erhalt von Schulgebäuden nach (Beckel 2004).....	82
Tabelle 19: Baugeschichtlich und bautechnologisch signifikante Perioden nach (Lorbek, et al. 2013)	87
Tabelle 20: Einflussfaktoren der Baustruktur auf Raum+ Architektur und Energie + Effizienz	90
Tabelle 21: Zu berücksichtigende externe Parameter in Bezug zum Energiekonzept im Kontext mit dem architektonischen Konzept.....	96
Tabelle 22: Primärenergie- und CO ₂ -Faktoren verschiedener Energieträger, nach (OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz 2011)	100
Tabelle 23: Kriterien aus BREEAM Education mit einem maßgeblichen Einfluss auf das Raumprogramm bei Sanierung von Schulbauten; Auszüge nach (BRE 2012).....	106
Tabelle 24: Vergleich mechanischer Lüftungskonzepte nach (Klima, et al. 2006).....	113
Tabelle 25: Gebäudeanalyse: Übersicht der relevanten Themenfelder	123
Tabelle 26: Sanierung von Fassaden: Typische Problemstellungen und Auswirkungen, übersetzt und adaptiert nach (Knaack, imagine 06: Reimagining the envelope 2012).....	126
Tabelle 27: Sanierung des statischen Systems nach Typologie / Baualter nach (Haselsteiner, Lorbek, et al., Handbuch Baustelle Schule, Ein Leitfaden zur ökologisch nachhaltigen Sanierung von Schulen 2010).....	128
Tabelle 28: Vergleichswerte Heizwärmebedarf nach Typologie / Baualter nach (Haselsteiner, Lorbek, et al., Handbuch Baustelle Schule, Ein Leitfaden zur ökologisch nachhaltigen Sanierung von Schulen 2010).....	130
Tabelle 29: Thematische Maßnahmen in der Prioritätenmatrix.....	132
Tabelle 30: Energiekennzahlen Projektbeispiel Franz Jonas Europaschule (Bestand); Berechnungen im Rahmen des Projekts SchulRen+ (Dubisch, et al. 2012).....	186
Tabelle 31: Beschreibung der Kenngrößen Bestand / Sanierung in der Simulation	195
Tabelle 32: U-Werte und g-Werte nach Bauteil Bestand / Sanierung in der Simulation	196
Tabelle 33: Beschreibung der simulierten Variantengruppen.....	198
Tabelle 34: Annahmen zur Auslegung der dezentralen Lüftungsanlage nach (Dubisch, et al. 2012)	205
Tabelle 35: Bilanzierung Plus-Energie Szenario nach (Dubisch, et al. 2012).....	206

Tabelle 36: Annahmen zur Bilanzierung Plus-Energie Szenario nach (Dubisch, et al. 2012).....	206
Tabelle 37: Varianten zur Simulation der sommerlichen Überwärmung	208
Tabelle 38: Varianten zur Simulation Sanierung Klassenraum / Keller (Situation A).....	211
Tabelle 39: Varianten zur Simulation Sanierung Keller / Erdreich (Situation B).....	212
Tabelle 40: Beschreibung der Varianten zur Berechnung der Lebenszykluskosten nach (Dubisch, et al. 2012).....	215
Tabelle 41: Kennwerte und Kostenbilanz nach Sanierung; adaptiert nach (Dubisch, et al. 2012)	216
Tabelle 42: Kennwerte externe Kosten CO ₂ nach (Dubisch, et al. 2012).....	216
Tabelle 43: Lebenszykluskosten-Analyse im Vergleich der drei Varianten nach (Dubisch, et al. 2012)	217

8.2. Verzeichnis Abbildungen

Abbildung 1: Anteil an Zweckbauten in der Europäischen Union nach Sektor aus (Economidou 2011)	3
Abbildung 2: Anteil der Schulen der Stadt Wien nach Bauperiode (öffentliche Volks-, Haupt- und Sonderschulen im Verwaltungsbereich der Stadt Wien)	4
Abbildung 3: Entwurf von J.I.Felbiger für ein Landschulhaus, 1783 (Lange 1967)	13
Abbildung 4: Ansicht des Riemenscheider Gymnasiums in Würzburg, erbaut 1836	14
Abbildung 5: Gelehrtenschule des Johanneum, Hamburg 1840 (Lange 1967)	15
Abbildung 6: Volksschule, München, um 1875 (Lange 1967)	15
Abbildung 7: Anzahl der Schulen der Stadt Wien (öffentliche Volks-, Haupt- und Sonderschulen im Verwaltungsbereich der Stadt Wien) nach Baualter	16
Abbildung 8: Grundriss-Vorbilder, Blatt 40 (Klasen 1884)	17
Abbildung 9: Grundriss-Vorbilder, Blatt 41 (Klasen 1884)	17
Abbildung 10: Grundriss-Vorbilder, Blatt 43 (Klasen 1884)	18
Abbildung 11: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Wien seit 1880	19
Abbildung 12: Freiluftschule Cloistraat, Amsterdam	20
Abbildung 13: das österr. Bildungssystem geteilt nach primärem, sekundärem und tertiärem Sektor	22
Abbildung 14: Das finnische Schulsystem, Graphik adaptiert nach (Välijärvi 2013)	23
Abbildung 15: Erforderliche Erhöhung der Sanierungsintensität, um 90% CO ₂ -Einsparung zu erreichen (Staniaszek 2013)	28
Abbildung 16: Klassifizierung der Barrieren, die im Rahmen der BPIE Studie ‚Europe’s Building under the Microscope‘ identifiziert wurden (Economidou 2011)	29
Abbildung 17: Schaubild zur aktuellen Schulverwaltung in Österreich, vereinfachte Darstellung (Schmid, Ascher und Mayr 2009)	32
Abbildung 18: Organe der Schulverwaltung (Ausschnitt) (Rechnungshof 2009)	33
Abbildung 19: Potentialanalyse-Prioritäten-Matrix als Unterstützung im Entscheidungsprozess innerhalb eines Gebäudeportfolios; nach (Geier, Van Praet, et al. 2012)	37
Abbildung 20: Optimierung über den Lebenszyklus durch PPP Modell	47
Abbildung 21: Bereiche operativer Raumtemperaturen nach DIN 1946 / Teil 2	63
Abbildung 22: Behaglichkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte	64
Abbildung 23: Zweiseitige Belichtung bei eingeschossiger Bauweise (Berger 1960)	67
Abbildung 24: Entwicklung des abendländischen Unterrichtswesen nach (Budde und Theil 1969)	71

Abbildung 25: Unterrichtsformen in der Primarstufe nach (Kentner, Mayer und Schmidt-Thomsen 1972)	72
Abbildung 26: Richard Neutra, Zeichnung für die Emerson Middle School, 1938, Los Angeles, Californien	73
Abbildung 27: Alternative Konzepte der Schulraumgestaltung: Vorhanden vs Wünschenswert; Daten aus (Spiel, Schabmann, et al. 2010)	74
Abbildung 28: Zusammenarbeit der unterschiedlichen Stakeholder, Traditionell und in Zukunft; nach Peter Eberhard und Urs Meier in (Kurz 2004)	76
Abbildung 29: Neue Raumkonzepte in alten Schulhäusern nach (Sprecher Mathieu 2010).....	77
Abbildung 30: Gebäudecharakteristik zweizügiger Typenschulbauten in DE (Ahnert und Bloedow 1999).....	88
Abbildung 31: Korridorotyp, Hallentyp, Pavillontyp aus (Heim, Fischer und Schwehr 2011).....	89
Abbildung 32: Kategorien im Energieausweis für Gebäude	91
Abbildung 33: Vorgehensweise zur Erreichung von Niedrigenergie / Passivhaus / Nullenergie und Plus-Energiestandards im Gebäude.....	92
Abbildung 34: Einfallende Solarstrahlung für den Standort Wien auf einer vertikalen Südfassade in W/m^2 nach stündlichen Werten (berechnet in Ecotect).....	97
Abbildung 35: Einfallende Solarstrahlung für den Standort Wien auf einer vertikalen Nordfassade in W/m^2 nach stündlichen Werten (berechnet in Ecotect)	97
Abbildung 36: Einfluss der Orientierung auf den spezifischen Jahresheizenergie und Jahreskühlenergiebedarf; Variante mit U-Werten lt. Bauordnung; Wiener Wetterdatensatz (Ledinger 2008).....	98
Abbildung 37: Einfluss der Orientierung auf den spezifischen Jahresheizenergie und Jahreskühlenergiebedarf; Variante mit U-Werten lt. Bauordnung mit externer Verschattung; Wiener Wetterdatensatz (Ledinger 2008).....	99
Abbildung 38: Belegungszeiten von Schulgebäuden nach (Reiss 2010).....	102
Abbildung 39: Arten natürlicher Belüftung nach (AEE Intec et al 2013).....	110
Abbildung 40: Darstellung einer Punktfassade (Massivbau) und Fassade bestehend aus Fassadenelementen (Skelettbau) aus (AEE Intec et al 2013).....	111
Abbildung 41: Arten mechanischer Belüftung nach (AEE Intec et al 2013)	112
Abbildung 42: Sanierungsstrategien für Fassaden; nach (Knaack, imagine 06: Reimagining the envelope 2012).....	126
Abbildung 43: Beispiel einer Prioritätenmatrix im Konzeptentwicklungsprozess für eine Schulsanierung	133
Abbildung 44: Beispiele einer ausgefüllten Prioritätenmatrix im Konzeptentwicklungsprozess	133

Abbildung 45: Intensität der Interaktion in der Sanierung, nach (Knaack, imagine 07: Reimagining housing 2012).....	134
Abbildung 46: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzeptes.....	137
Abbildung 47: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzeptes: Schritt 1 Passiv.....	138
Abbildung 48: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzeptes: Schritt 2 Gebäudetechnik.....	141
Abbildung 49: Methodik zur Erstellung eines Energiekonzeptes: Schritt 3 Erneuerbare Energien	144
Abbildung 50: Übersicht: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung.....	147
Abbildung 51: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 1A Passiv / Fassaden und Hüllflächen	149
Abbildung 52: Varianten zur Dämmung der obersten Geschößdecke am Beispiel der Franz Jonas Europaschule; (Dubisch, et al. 2012).....	150
Abbildung 53: Varianten zur Dämmung der untersten Geschößdecke (Kellerdecke) am Beispiel der Franz Jonas Europaschule; (Dubisch, et al. 2012)	151
Abbildung 54: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 1B Passiv / Grundriss.....	154
Abbildung 55: Beispielhafte Darstellung von Schaffung zusätzlicher vertikaler Erschließung am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012).....	155
Abbildung 56: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 1C Passiv / Baukörper.....	157
Abbildung 57: Beispielhafte Schließung von auskragenden Elementen am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012).....	157
Abbildung 58: Überdachung von Innenhöfen am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012)	158
Abbildung 59: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 1D Passiv / Statisches System	159
Abbildung 60: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2A Gebäudetechnik / Fassaden und Hüllflächen	160
Abbildung 61: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2B Gebäudetechnik / Grundrisse.....	161
Abbildung 62: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2C Gebäudetechnik / Baukörper.....	163
Abbildung 63: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 2D Gebäudetechnik / Statisches System.....	164
Abbildung 64: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3A Erneuerbare Energien / Fassaden und Hüllflächen	165

Abbildung 65: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3B Erneuerbare Energien / Grundrisse	166
Abbildung 66: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3C Erneuerbare Energien / Baukörper	167
Abbildung 67: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 3D Erneuerbare Energien / Statisches System	168
Abbildung 68: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 I: Begleitmaßnahmen / Stakeholder	169
Abbildung 69: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 II: Begleitmaßnahmen / Bewusstseinsbildung	170
Abbildung 70: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 III: Begleitmaßnahmen / Finanzierung	172
Abbildung 71: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung: Maßnahmengruppe 4 IV: Möblierung.....	173
Abbildung 72: Möblierungsvarianten eines exemplarischen Klassenzimmers am Beispiel der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012).....	174
Abbildung 73: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes	176
Abbildung 74: Stadtplan von Wien mit Bezirksgrenzen und Standort der Franz Jonas Europaschule	179
Abbildung 75: Luftbild und Lageplan der Franz Jonas Europaschule	179
Abbildung 76: 3D Luftbild der Franz Jonas Europaschule von Süden (Bild links) und Westen (Bild rechts)	180
Abbildung 77: Fassade der Franz Jonas Europaschule straßenseitig	180
Abbildung 78: Fassade der Franz Jonas Europaschule hofseitig.....	181
Abbildung 79: Schulhof der Franz Jonas Europaschule, Blick Richtung Westen (Bild links) und südseitigem Turnsaal (Bild rechts).....	181
Abbildung 80: Grundriss Erdgeschoß Bestand Franz Jonas Europaschule; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012).....	182
Abbildung 81: Stiegenhaus, typischer Klassenraum (in der Nachmittagsbetreuung genutzt) und Turnsaal der Franz Jonas Europaschule (von links nach rechts)	182
Abbildung 82: Dachboden, Kellerbereich und unsaniertes Fenster der Franz Jonas Europaschule (von links nach rechts).....	183
Abbildung 83: Schnitt Bestand Franz Jonas Europaschule; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012).....	183
Abbildung 84: Belegungsplan der Franz Jonas Europaschule nach (Dubisch, et al. 2012).....	184

Abbildung 85: Belegungsplan der Franz Jonas Europaschule Erdgeschoß und 1.OG; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012).....	184
Abbildung 86: Belegungsplan der Franz Jonas Europaschule 2.OG und Schnitt; Pläne von gharakhanzadeh sandbichler architekten nach (Dubisch, et al. 2012).....	185
Abbildung 87: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a im Bestandsgebäude	187
Abbildung 88: Beispiel der Prioritätenmatrix für die Sanierung der Franz Jonas Europaschule basierend auf den Ergebnissen der Expertenworkshops nach (Dubisch, et al. 2012)	188
Abbildung 89: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 1 Passiv	190
Abbildung 90: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 2 Gebäudetechnik.....	191
Abbildung 91: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 3 Erneuerbare Energien	192
Abbildung 92: Beispiel Franz Jonas Europaschule; Auswahl Maßnahmengruppe 4 Begleitmaßnahmen	193
Abbildung 93: Heizwärmebedarf Sanierungsvarianten Außenhülle (Einzelmaßnahmen)	199
Abbildung 94: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a für Sanierungsvarianten A1, A2, A3 und A4.....	199
Abbildung 95: Heizwärmebedarf Sanierungsvarianten Außenhülle (Kombinierte Maßnahmen)	200
Abbildung 96: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a für Sanierungsvarianten B1 und B2.....	201
Abbildung 97: Heizwärmebedarf Sanierungsvarianten Haus- und Regelungstechnik	201
Abbildung 98: Thermische Gewinne und Verluste in MWh/a für Sanierungsvarianten C1, C2, und D1.....	202
Abbildung 99: Prozentuelle Reduktion des Heizwärmebedarfs in unterschiedlichen Sanierungsvarianten.....	203
Abbildung 100: Grafische Darstellung des beispielhaft kritischen Raumes bezüglich sommerlicher Überwärmung; Plandaten aus SchulRen+.....	207
Abbildung 101: Temperaturvergleich Varianten sommerliche Überwärmung eines kritischen Raumes	209
Abbildung 102: Grafische Darstellung der beispielhaft kritischen Randsituationen bezüglich Wärmebrücken; Plandaten aus SchulRen+.....	210

Abbildung 103: Wärmestrom (Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 1,0 W/m) und Falschfarben-Darstellungen der Varianten 1-4 (von links nach rechts) zur Simulation Sanierung Klassenraum / Keller (Situation A).....	211
Abbildung 104: Wärmestrom (Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 0,2 W/m) und Falschfarben-Darstellungen der Varianten 1-5 (jeweils von links nach rechts) zur Simulation Sanierung Keller / Erdreich (Situation B)	212

8.3. Abkürzungen

AHS	Allgemeinbildende Höhere Schule
ASBP	Austrian Sustainable Building Platform
BAS	Building Automation System (Gebäudemanagement System)
BDA	Bundesdenkmalamt
BGBI	Bundesgesetzblatt
BGF	Bruttogeschossfläche (siehe auch NGF)
BHKW	Blockheizkraftwerke
BHS	Berufsbildende Höhere Schule
BIFIE	Bundesinstitut Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens
BIG	Bundesimmobiliengesellschaft
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Frauen
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMS	Building Management System (dt: Gebäudemanagementsystem)
BMUKK	Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BMWFJ	Bundesministerium für Wirtschaft, Familien und Jugend
BO	Bauordnung
BPIE	Buildings Performance Institute Europe
BRE	Building Research Establishment (UK)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CFD	Computational Fluid Dynamics
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
DIN	Deutsche Industrienorm
DOP	Domestic Offset Projects
EC	European Commission
EEB	Endenergiebedarf
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EG	Erdgeschoss

EKZ	Energiekennzahl ²⁰⁰
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes
EPBD	European Performance of Buildings Directive
ETFE	Ethylen-Tetrafluorethylen (Kunststoff mit geringem Gewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit)
EU	Europäische Union
GIPV	Gebäudeintegrierte Photovoltaik
HGT	Heizgradtage
HS	Hauptschule
HWB	Heizwärmebedarf
IDA	Indoor Air (dt. Innenraumluft)
IEA	International Energy Agency
IEE	Intelligent Energie Europe
IHS	Institut für höhere Studien
ISCED	International Standard Classification of Education
KB	Kühlbedarf
KDZ	Zentrum für Verwaltungsforschung
KWKA	Kleinwindkraftanlagen
KWKW	Kleinwindkraftwerke
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LW	Luftwechsel
LWZ	Luftwechselzahl
MA	Magistrat der Stadt Wien
NGF	Nettogeschossfläche (siehe auch BGF)
NMS	Neue Mittelschule
nZEB	Nearly Zero Energy Buildings
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OG	Obergeschoss
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖISS	Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau
ÖGNB	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Baues
ÖGNI	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft






²⁰⁰ Nach ÖNORM H 5050 ist die Energiekennzahl ein Maß für den Energieaufwand eines Gebäudes innerhalb eines Jahres, bezogen auf die beheizte Gebäude- Brutto- Grundfläche (BGF). Wird ein Gebäude nur teilweise genutzt, z.B. bei Einmietungen oder sind nur NGF bekannt, werden die Energiekennwerte wie Energiekennzahlen, angegeben.

ÖPP	Öffentlich-Private Partnerschaft (siehe auch PPP)
PE	Primärenergie
PEF	Primärenergiefaktor
PISA	Program for international student assessment
PPP	Private Public Partnership (siehe auch ÖPP)
PV	Photovoltaik
PVDF	Polyvinylidenfluorid
SPF	Specific Fan Power (Spezifische Ventilatorleistung)
ST	Solarthermie
SUSA	Substanzsanierungsprojekt Schulen Wiens (aktuell: Schulsanierungspaket)
THG	Treibhausgase
TWD	Transparente Wärmedämmung
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation
USGBC	United States Green Building Council
VIP	Vakuumisolationspaneele
VOC	Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen)
VS	Volksschule
WDVS	Wärmedämmverbundsysteme
WIFO	Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung
WP	Wärmepumpen
WRG	Wärmerückgewinnung
WW	Warmwasser

8.4. Methodik Energiekonzepte Überblick






Methodik 1: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Passiv.....	244
Methodik 2: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Gebäudetechnik.....	245
Methodik 3: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Erneuerbare Energien.....	246
Methodik 4: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung	247
Methodik 5: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe Passiv.....	248
Methodik 6: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe Gebäudetechnik.....	249
Methodik 7: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe Erneuerbare Energien	250
Methodik 8: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe Begleitmaßnahmen.....	251

EINZELMASSNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG: PASSIV

		1 	
MASSNAHMEN GRUPPE		PASSIV: REDUZIERUNG DES GESAMTENERGIEVERBRAUCHS	EINFLUSS / WECHSELWIRKUNG / VERBINDUNG ZU NEUEN RAUMANFORDERUNGEN
A	<p>FASSADEN / HÜLLFLÄCHEN</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dämmung Aussenwand ▪ Dämmung oberste Geschossdecke / Dach ▪ Dämmung Kellerbereich ▪ Vorgefertigte Fassadenmodule ▪ Austausch der Fenster ▪ Optimierung der Fensterflächen (Tageslichtoptimierung, Verschattung) ▪ Transparente Wärmedämmung ▪ Nutzung von ETFE für Überdachungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alternative Sitzmöglichkeiten in der Aussenwand (Fensterbänke) durch erhöhte Mauerdicken ▪ Gestaltbarer Lichteintrag und damit flexiblere Nutzung des Innenraums durch intelligente Verschattung ▪ Nutzung des Bodens als Sitz- / Liegefläche durch Fussbodendämmung ▪ Flexiblere Nutzung des Innenraums durch unterschiedlichen Lichteintrag ▪ Mehr Tageslicht durch alternative semi-transparente Dämmsysteme
B	<p>GRUNDRISS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermische Trennung unterschiedlicher Nutzungszonen ▪ Thermische Trennung vertikaler + horizontaler Erschließungsflächen ▪ Clusterbildung Gang / Klasse ▪ Auslagerung von Sonderbereichen in angrenzende Zonen (Dachgeschoss / Keller / Zubau) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexiblere Klassennutzung und Mehr-Raum-Nutzung für Einzelarbeit / Gruppenarbeit durch gleiche Temperierung von Gang und Klasse (Clusterbildung) ▪ Sondernutzungen (Bibliothek / Garderobe / etc.) in getrennten Zonen schaffen mehr Flächen für offene Klassenräume und Freiflächen
C	<p>BAUKÖRPER</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schließung von auskragenden Elementen ▪ Überdachung von Innenhöfen ▪ Nachverdichtung durch Aufstockung / Zubau ▪ Auslagerung der vertikalen Erschließung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzung von zusätzlichen (Pausen- / Lese- / Spiel-Flächen) durch Schließung auskragender (Erker, Vorsprünge) und ▪ Ganzjährige Nutzung des Innenhofs (Teilbereiche) durch zusätzliche geschützte Flächen ▪ Flächengewinn in den Gangflächen durch externe Fluchtwege
D	<p>STATISCHES SYSTEM</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schaffung von Atrien für neue Nutzungsbereiche ▪ Nutzung von Speichermassen (Decke, Wand) ▪ Betonkernaktivierung (bei nachträglichem Deckeneinbau) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewinn an Raumhöhe durch Wegfall abgehängter Decken ▪ Erhöhter Komfort durch Niedertemperatur Strahlungsheizung / Kühlung

Methodik 1: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Passiv

EINZELMASSNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG: GEBÄUDETECHNIK





		2 	
MASSNAHMEN GRUPPE		GEBÄUDETECHNIK: EINBINDUNG EFFIZIENTER GEBÄUDETECHNIK	EINFLUSS / WECHSELWIRKUNG / VERBINDUNG ZU NEUEN RAUMANFORDERUNGEN
A FASSADEN / HÜLLFLÄCHEN 	<ul style="list-style-type: none"> Gestaltung der Lüftungselemente in der Fassade 		<ul style="list-style-type: none"> Schallschutztechnische Anforderungen müssen beachtet werden (vor allem, wenn Lüftungsgeräte direkt in der Fassade angebracht werden) Fensteröffnen sollte trotz mechanischer Lüftung jederzeit möglich sein (Hybrides System); Lüftung wird in Abhängigkeit der Luftverhältnisse im Innenraum gesteuert
B GRUNDRISS 	<ul style="list-style-type: none"> Lüftungssystem in Abhängigkeit der Grundrissart (zentral / dezentral / hybrid), Leitungsführung Heiz- und Kühlkreise in Abhängigkeit von Zonierung und Orientierung Flexibilität in der Regelungstechnik zur Abbildung flexibler Nutzungszonen 		<ul style="list-style-type: none"> Regelkreise für Heizung und Lüftung (zentral / dezentral / hybrid) müssen der Flexibilität in den Raumnutzungen gerecht werden Regelung muss in Abhängigkeit der Raumnutzung gesteuert werden können (Zusammenlegung von Flächen / unterschiedliche Belegung von Flächen) Vortemperierung der Räume bei massiven Bauwerken erfordert eine vorausgeplante Raumbelugung („Anmelden“ von Raumnutzungen bzw. Nutzungen nach Stundenplan)
C BAUKÖRPER 	<ul style="list-style-type: none"> Luftvorwärmung- kühlung durch Erdkanal / Kellerräume / Dachboden Niedertemperatursysteme (Fußboden- / Wandheizung) 		<ul style="list-style-type: none"> Nutzung des Bodens als Sitz- / Liegefläche durch Fußbodenheizung Regelkreise für Heizung / Lüftung müssen der Flexibilität in den Raumnutzungen gerecht werden
D STATISCHES SYSTEM 	<ul style="list-style-type: none"> Durchbrüche für Lüftungssysteme (Außen- und Innenwände; Decken) Einbindung von Langzeitspeicher 		<ul style="list-style-type: none"> Schallschutztechnische Anforderungen müssen besonders bei Multi-funktionalen Raumanforderungen besonders beachtet werden (Verschränkung von Gang / Klasse bzw. Luftdurchlässen von Gang / Klasse)

Methodik 2: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Gebäudetechnik

EINZELMASSNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG: ERNEUERBARE ENERGIEN

3



MASSNAHMEN GRUPPE	ERNEUERBARE ENERGIEN: ARCHITEKTONISCHE + SYSTEMTECHNISCHE INTEGRATION	EINFLUSS / WECHSELWIRKUNG / VERBINDUNG ZU NEUEN RAUMANFORDERUNGEN
<p>A FASSADEN / HÜLLFLÄCHEN</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbindung von PV in Hüllflächen ▪ Einbindung von Solarthermie in Hüllflächen ▪ Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen ▪ PV-Verschattungselemente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Semi-transparente Elemente in der Fassade schaffen unterschiedliche Lichtmuster und damit veränderte Innenraumqualitäten ▪ Semi-transparente Elemente können besonders dort angewendet werden, wo Tageslicht aber keine Durchsicht gefordert ist ▪ Variable Verschattung ermöglicht gestaltbaren Lichteintrag und damit flexiblere Nutzung des Innenraums durch intelligente Verschattung
<p>B GRUNDRISS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BHKW (Pelletts, Biogas) – Anlieferung und Lagerraum 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Logistik (Anlieferung / Wartung) müssen getrennt vom Schulbetrieb durchgeführt werden können (Anlieferung Straßenseitig)
<p>C BAUKÖRPER</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzung von transparenten Überdachungen (Innenhof) für PV (Schließung des Baukörpers) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schaffung von zusätzlichen geschützten Freiflächen durch semi-transparente Überdachungen (Innenhöfe / Erker / Lichthöfe) ▪ Semi-transparente Elemente schaffen unterschiedliche Lichtmuster und damit veränderte Innenraumqualitäten
<p>D STATISCHES SYSTEM</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verstärkung der Konstruktion / Unterkonstruktion zur Einbindung von erneuerbaren Systemen ▪ Tiefenbohrung (Wärmepumpe) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei nachträglicher Verstärkung des statischen Systems für Klein-Windkraftanlagen ist besonders auch Vibrationsfreiheit zu achten

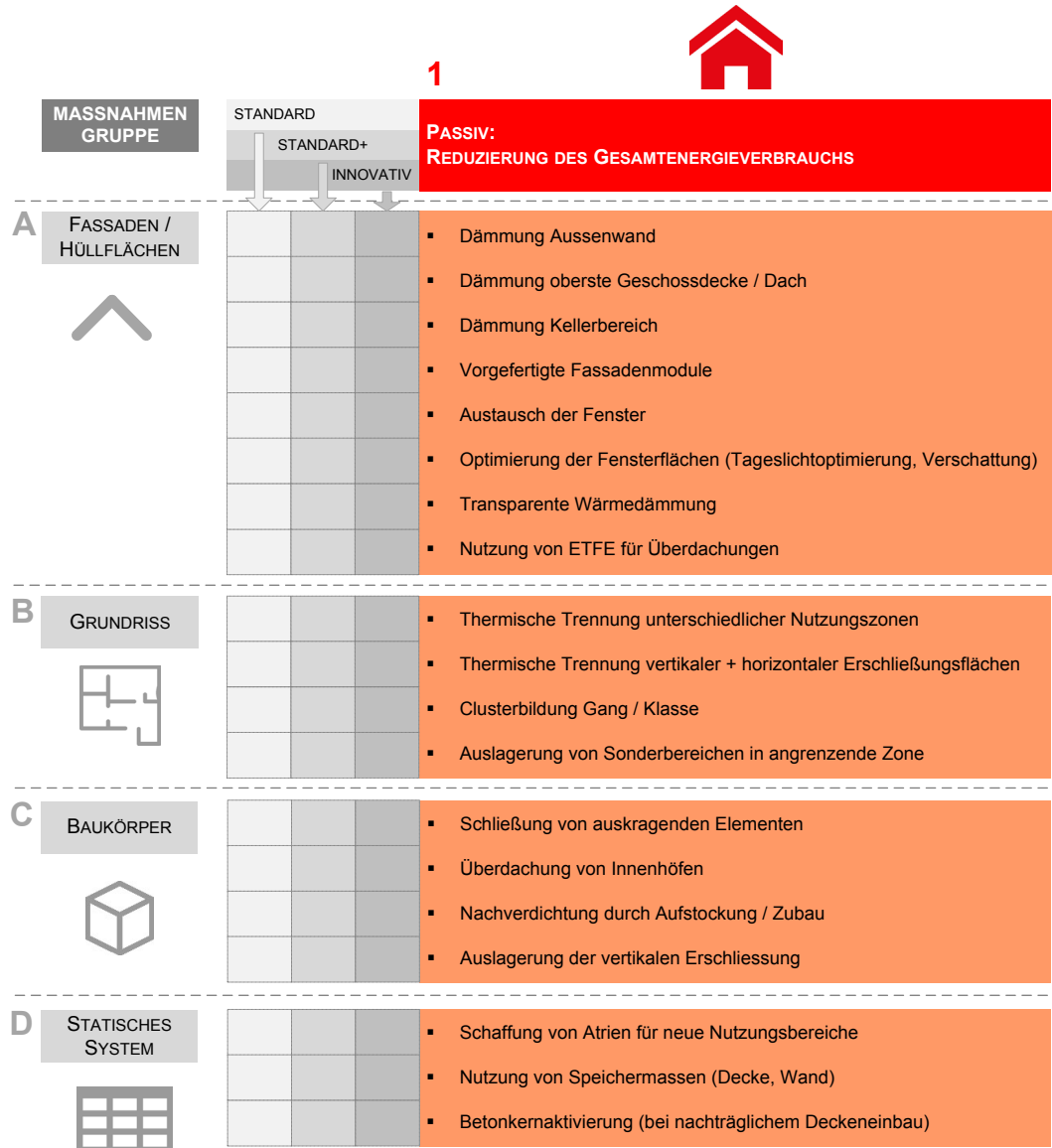
Methodik 3: Einzelmaßnahmen in der Schulsanierung: Erneuerbare Energien

BEGLEITMASSNAHMEN IN DER SCHULSANIERUNG



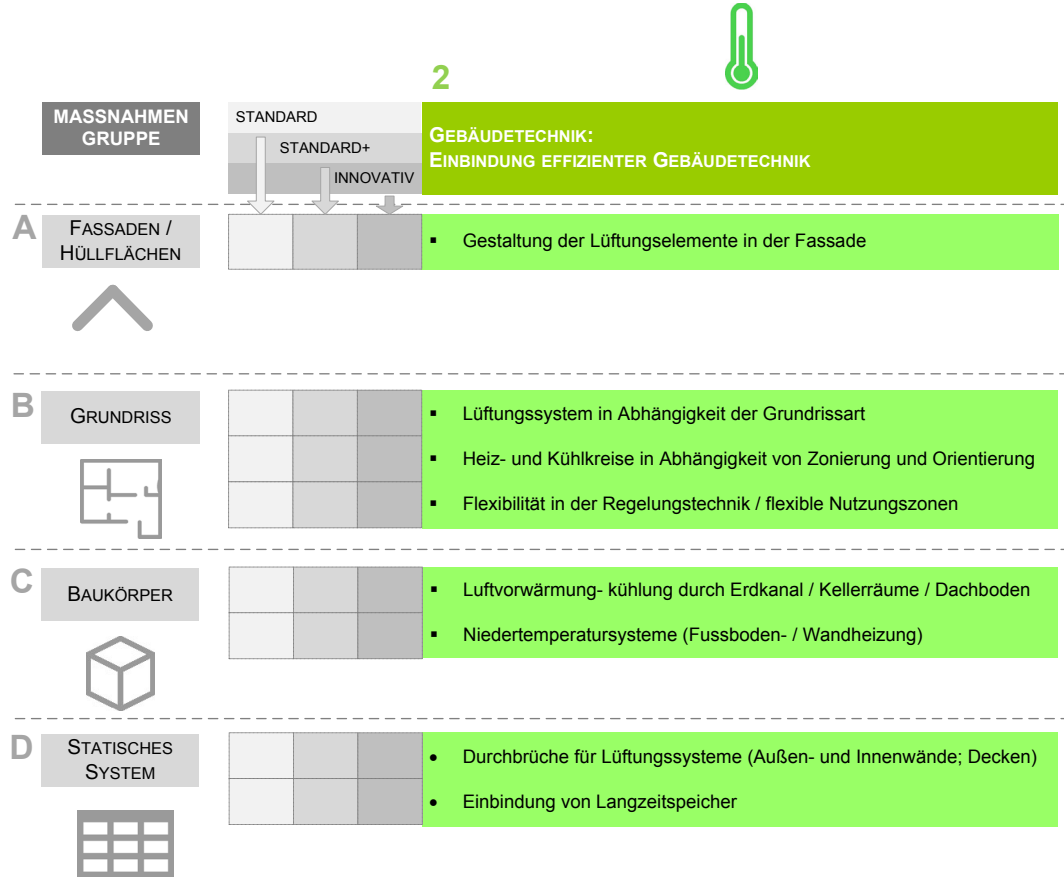
Methodik 4: Begleitmaßnahmen in der Schulsanierung

KONZEPTERSTELLUNG AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 1 PASSIV



Methodik 5: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe 1 Passiv

KONZEPTERSTELLUNG AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 2 GEBÄUDETECHNIK



Methodik 6: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe 2 Gebäudetechnik

KONZEPTERSTELLUNG AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 3 ERNEUERBARE ENERGIEN



MASSNAHMENGRUPPE	3			ERNEUERBARE ENERGIEN: ARCHITEKTONISCHE + SYSTEMTECHNISCHE INTEGRATION
	STANDARD	STANDARD+	INNOVATIV	
A FASSADEN / HÜLLFLÄCHEN 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> Einbindung von PV in Hüllflächen Einbindung von Solarthermie in Hüllflächen Vorgefertigte Fassadenmodule mit integrierten Systemen PV-Verschattungselemente
B GRUNDRISS 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> BHKW (Pelletts, Biogas) – Anlieferung und Lagerraum
C BAUKÖRPER 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung von transparenten Überdachungen (Innenhof) für PV (Schließung des Baukörpers)
D STATISCHES SYSTEM 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> Verstärkung der Konstruktion / Unterkonstruktion zur Einbindung von erneuerbaren Systemen Tiefenbohrung (Wärmepumpe)

Methodik 7: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe 3 Erneuerbare Energien

KONZEPTERSTELLUNG AUSWAHL MASSNAHMENGRUPPE 4 BEGLEITMASSNAHMEN



Methodik 8: Konzepterstellung, Auswahl Maßnahmengruppe 4 Begleitmaßnahmen

8.5. Projektbeispiele

Projektbeispiele chronologisch nach Fertigstellung Sanierung:

Projektbeispiel 1: Polytechnische Schule und Hauptschule II Schwanenstadt	253
Projektbeispiel 2: Hauptschule Bezau.....	254
Projektbeispiel 3: Allgemeine Sonderschule 06 Linz	255
Projektbeispiel 4: Allgemeine Sonderschule 04 Linz	256
Projektbeispiel 5: Hauptschule Zams-Schönwies	257
Projektbeispiel 6: Volksschule Mähdle	258
Projektbeispiel 7: Volks- und Musikschule Leobendorf.....	259
Projektbeispiel 8: Volksschule Lind ob Velden.....	260
Projektbeispiel 9: Volksschule St. Leonhard	261
Projektbeispiel 10: Volksschule Mäder	262
Projektbeispiel 11: Volksschule Hof	263
Projektbeispiel 12: Grundschule Hohen Neudorf.....	264
Projektbeispiel 13: Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus.....	265
Projektbeispiel 14: Evangelische Schule am Karlsplatz, Wien	266
Projektbeispiel 15: Hannah Arendt Schule Bozen	267
Projektbeispiel 16: Uhlandschule Grund und Hauptschule mit Werkrealschule.....	268
Projektbeispiel 17: Europa Schule Reutershagen	269
Projektbeispiel 18: Volks- und Hauptschule Rainbach im Mühlkreis.....	270

1

POLYTECHNISCHE SCHULE UND HAUPTSCHULE II SCHWANENSTADT ²⁰¹

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Oberösterreich Mühlfeldstr. 1, 4690 Schwanenstadt PAUAT Architekten ~70er / 2005 – 2007
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	6214 165 14,1 10 1,38
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Holzpelletsanlage, Solaranlage Photovoltaik; 6,7kWp Dezentral, Wärmerückgewinnung, Nachtlüftungskonzept
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Vorgefertigte Leichtbaufassade (Holzkonstruktion) auf Bestand mit 58cm Einpassdämmung; Erhöhung der Kompaktheit der Baukörper durch Zubau; Öffnung innenliegender Bereiche dienen der Tageslichtnutzung über Oberlichten; vor der Sanierung wurde eine umfassende Studie mit simulierten Sanierungsvarianten durchgeführt, siehe (Lang 2004); Während der Sanierung wurde eine Energietechnische und Baubiologische Begleituntersuchung durchgeführt (Wagner 2009)	

Projektbeispiel 1: Polytechnische Schule und Hauptschule II Schwanenstadt

²⁰¹ Bild- und Textquellen: www.pauat.at / Zugriff 17.08.2013; (Dubisch, et al. 2012)

2

HAUPTSCHULE BEZAU ²⁰²

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Vorarlberg Platz 138, 6870 Bezaú Ralph Broger 1972 / 2006 – 2008
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	2370 ka 27 26 ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Heizwärmeverteilung Stromerzeugung Lüftungssystem	Fernwärme Fußboden-, Decken- und Wandheizung ka Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Vorgefertigte Holz-Leichtbauelemente; Dämmstoffe aus nachwachsende Rohstoffen (Holz, Zellulose); Verzicht auf Faserdämmstoffe bei Raumakustik; Emissionsarme Farben, Lacke, Kleber und Beschichtungen; PVC-Verzicht im Innenausbau; Evaluierungsmessungen zur Raumluftqualität (Formaldehyd und VOC)	

Projektbeispiel 2: Hauptschule Bezaú

²⁰² Bild- und Textquellen: arch.broger.at / Zugriff 18.08.2013; (Dubisch, et al. 2012); www.passivhausdatenbank.at / Zugriff 31.12.2014

3

ALLGEMEINE SONDERSCHULE 06 LINZ ²⁰³

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Oberösterreich Flötzerweg 61a, 4030 Linz Enzenhofer & Dornstädter 1977 / 2008 – 2009
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	2098 ka 13,1 27 ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Wärmeverteilung Stromerzeugung Lüftungssystem	Wärmepumpe, Fernwärme, Solarthermie Fußboden- Decken und Wandheizung ka Zentral + Wärmerückgewinnung, Nachtlüftungskonzept
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Aufstockung in Holzriegelbauweise; vorgefertigte Wandelemente; Ziel der Sanierung war u.a. zeitgemäße Räume für die Anforderungen des Sonderschulbetriebs zu schaffen; Oberlichtverglasungen bringen zusätzliches Licht bis ins Erdgeschoß; um zusätzliche Sitzbänke als ‚Raummöbel‘ zu schaffen wurde der Parkettbodenbelag in den Klassenzimmern auf die Parapetflächen hochgezogen	

Projektbeispiel 3: Allgemeine Sonderschule 06 Linz

²⁰³ Bild- und Textquellen: www.dornstaedter.at / Zugriff 17.08.2013; (Dubisch, et al. 2012); www.franz-enzenhofer.at / Zugriff 31.12.2014; www.passivhausdatenbank.at / Zugriff 31.12.2014

4

ALLGEMEINE SONDRSCHULE 04 LINZ ²⁰⁴

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Oberösterreich Höderlinstr. 9, 4040 Linz Grundstein / Arch. Michael Wildmann Späte 50er Jahre / 2008 – 2009
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	2228 ka 12,9 13 0,56
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Fernwärme, Wärmepumpe, Solarthermie für Warmwasser (23m ²) ka Dezentral + Wärmerückgewinnung, Nachtlüftungskonzept
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Brückenkonstruktion aus Stahl, Holz und Glas; hohe Vorfertigung Natürliches Lüftungskonzept, wofür eigene Lüftungsflügel entwickelt wurden; Nachtlüftung durch die Ausnutzung natürlicher physikalischer Phänomene (Kamineffekt)	

Projektbeispiel 4: Allgemeine Sonderschule 04 Linz

²⁰⁴ Bild- und Textquellen: www.grundstein.cc / Zugriff 17.08.2013; (Dubisch, et al. 2012); www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/staatspreis/staatspreis2012/preistraeger12/aso4-linz.html / Zugriff 31.12.2014

5

HAUPTSCHULE ZAMS-SCHÖNWIES ²⁰⁵

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Tirol Oberreitweg 26, 6511 Zams Robert Ehrlich 1975 / 2007 - 2009
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	4213 ka 9 10 ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Heizwärmeverteilung Stromerzeugung Lüftungssystem	Wärmepumpe, Fernwärme Fußboden-, Decken-, Wandheizung ka Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung; Erdkollektoren zur Vor-Erwärmung der Außenluft, CO ₂ Regelung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Adaptierung des bestehenden Raumkonzepts; Entfernung von störenden Einbauten bei den Pausenterrassen; Verbesserung der Belichtung in den Pausenräumen; beim Fensterrausch wurde auf eine eventuelle zukünftige Flexibilisierung der Klassentrennwände geachtet; vorgehängte Fassade; hochwärmegeämmte Holz-Riegel-Elemente	

Projektbeispiel 5: Hauptschule Zams-Schönwies

²⁰⁵ Bild- und Textquellen: www.architekturwettbewerb.at / Zugriff 18.08.2013; (Dubisch, et al. 2012); www.passivhausdatenbank.at / Zugriff 31.12.2014

6

VOLKSSCHULE MÄHDLE ²⁰⁶

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Vorarlberg Mähdlestr. 27, 6922 Wolfurt Gerhard Zweier 1975 / 2009
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	1850 129 17 12 0,6
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Heizwärmeverteilung Stromerzeugung Lüftungssystem	Grundwasser-Wärmepumpe; Solar-Flachkollektoren Fußboden-, Decken- und Wandheizung Photovoltaik Zentral (Aula und Turnhalle) / Dezentral (Klassenräume) mit Wärmerückgewinnung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Vorgehängte Holzkonstruktion; Holzschindelschalung; Sanierungszeitraum von nur 11 Wochen; hybrides Lüftungskonzept; Umstrukturierung von internen Abläufen; offenes Grundrisskonzept; Schließen des Außenraums zwischen Aula und Turnsaal; Verbreiterung des Gebäudes um 4m; Schaffung von neuen Gruppenraum für jedes Klassenzimmer; Schaffung von offenen ‚Lernateliers‘ in den Gangflächen	

Projektbeispiel 6: Volksschule Mähdle

²⁰⁶ Bild- und Textquellen: www.detail.de; www.fussenegger-holzbau.at / Zugriff 18.08.2013; (Dubisch, et al. 2012); www.nextroom.at / Zugriff 31.12.2014

7

VOLKS- UND MUSIKSCHULE LEOBENDORF ²⁰⁷

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Niederösterreich Nussallee 2, 2100 Leobendorf Ah3 Architekten ka / 2009
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	3080 ka 13,6 13 ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Holzsnitzelzentralheizung über Nahwärmenetz ka Semizentrale Lüftungsgeräte (1 Gerät pro Block) mit hocheffizienter Wärme- und Feuchterückgewinnung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Sanierung auf Passivhausstandard; Erweiterung um dreigeschossigen Blockblock; zentraler Innenhof versorgt das Foyer der Volksschule und der Musikschule mit Tageslicht; Volksschule und Musikschule (Erwachsenenbildung) wurden adaptiert, um eine getrennte Nutzung zu ermöglichen	

Projektbeispiel 7: Volks- und Musikschule Leobendorf

²⁰⁷ Bild- und Textquellen: www.oegnb.net / Zugriff 18.08.2013 (Dubisch, et al. 2012); www.passivhausdatenbank.at / Zugriff 31.12.2014

8

VOLKSSCHULE LIND OB VELDEN ²⁰⁸

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Kärnten Triester Straße 2, 9220 Velden Arch + More ZT / 2009 - 2010
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	1420 115 14 11 ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Solaranlage Photovoltaikanlage (13,6kWp) Dezentral mit Wärmerückgewinnung; Frischlufansaugung über Erdkollektor
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Thermische Gesamtsanierung; Baukörper sowie Innenraumgestaltung blieb im Wesentlichen unverändert	

Projektbeispiel 8: Volksschule Lind ob Velden

²⁰⁸ Bild- und Textquellen: www.archmore.cc / Zugriff 18.08.2013; www.passivhausdatenbank.at / Zugriff 31.12.2014; (Dubisch, et al. 2012)

9

VOLKSSCHULE ST. LEONHARD ²⁰⁹

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Kärnten Arch + More ZT 1964 / 2009 - 2010
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	1809 121 12 11 0,3
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Heizwärmeverteilung Stromerzeugung Lüftungssystem Belichtung	Holzpellets-Anlage Niedertemperaturheizkörper; Fußbodenheizung Photovoltaikanlage 5kWp Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung Tageslicht- und Bewegungssensoren; LED Beleuchtung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Fassadensanierung durch vorgefertigte hochwärmegedämmte Außenhülle; thermische Sanierung der Bodenplatte Integration einer zentralen energieeffizienten Komfortlüftungsanlage. Synergieeffekte ergaben sich durch die Integration des Kindergartens.	

Projektbeispiel 9: Volksschule St. Leonhard

²⁰⁹ Bild- und Textquellen: www.archmore.cc; www.energiebewusst.at / Zugriff 18.08.2013; (Dubisch, et al. 2012)

10

VOLKSSCHULE MÄDER ²¹⁰

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT, Vorarlberg Brühl 4, 6481 Mäder Fink und Thurnher Architekten 1983 / 2010
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	2002 ka 7 10 0,3
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Holzpelletsheizung Photovoltaik (20kWp) Zentrale Lüftungsanlage mit CO ₂ Steuerung und Wärmerückgewinnung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Kompakte Grundrissplanung; transparente Gestaltung der Innenräume (Glasflächen mit Durch- und Ausblicken); massive Außenwand mit Außendämmung und hinterlüfteten Putzträgerplatten; Geschoßdecke aus Brettstapeldecken aus Holz	

Projektbeispiel 10: Volksschule Mäder

²¹⁰ Bild- und Textquellen: www.fink-thurnher.at / Zugriff 31.12.2014; www.passivhausdatenbank.at / Zugriff 31.12.2014; Sonstige Quellen: (Dubisch, et al. 2012)

11

VOLKSSCHULE HOF ²¹¹

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Vorarlberg Hof 701, 6861 Alberschwende Jürgen Hagspiel 1970 / 2009 - 2010
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	2370 ka 25 ka ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Heizwärmeverteilung Stromerzeugung Lüftungssystem	Fernwärme Fußboden-, Decken- und Wandheizung kA Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung; Bewegungsfühler
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Erhaltung der Baukulturen; kompakte Bauweise; Dämmung der Außenwände; Fenstertausch und Verbesserung der Tageslichtsituation; Fertigstellung Sanierung in 11 Wochen	

Projektbeispiel 11: Volksschule Hof

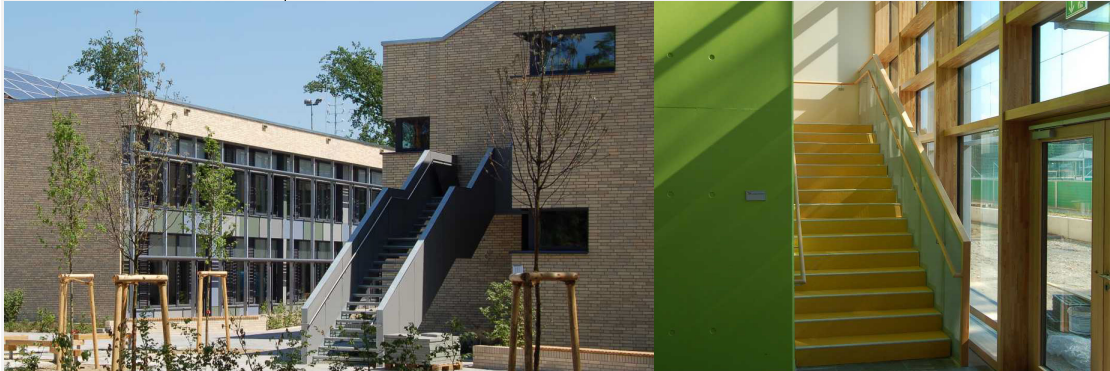
²¹¹ Bild- und Textquellen: www.j-h.at / Zugriff 18.08.2013; (Dubisch, et al. 2012)

12

GRUNDSCHULE HOHEN NEUENDORF ²¹²

PROJEKTTYP

NEUBAU / PLUSENERGIE STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt Baujahr (Neubau)	DE / Brandenburg Goethestr., 16540 Hohen Neuendorf IBUS Architekten 2009 - 2011
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB [kWh/ (m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	6563 30,20 ka ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem Beleuchtung	Pellet-Heizkessel und Pellet-BHKW Photovoltaikanlage Hybrides Lüftungskonzept; Zentral angesteuerte motorische Fensterflügel zur Stoßlüftung; Nachtlüftung Präsenz- und raumtiefenabhängigen Beleuchtungssteuerung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Hoher Integrationsgrad von architektonischem Entwurf und technischer Gebäudeausrüstung; Nutzung von natürlichen Ressourcen und passive Maßnahmen; Gebäudestruktur mit viel Speichermasse für freie Kühlung, Raumkonzept mit Tageslichteinfall von mehreren Seiten	

Projektbeispiel 12: Grundschule Hohen Neuendorf

²¹² Bild- und Textquellen: www.eneff-schule.de/ Zugriff 17.08.2013; www.ibus-berline.de/; www.enob.info/ Zugriff 31.12.2014

13

MAX-STEENBECK-GYMNASIUM COTTBUS ²¹³

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PASSIVHAUS STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt Baujahr / Sanierungszeitraum	DE / Brandenburg Universitätsstr.18, 03046 Cottbus Prof. Sommer Architekt & Co 1974 / 2012
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Primärenergie [kWh/(m ² a)]	9509 154 13 45 (Schule); 95 (Turnhalle)
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung; 40m ² Solarthermie Photovoltaikanlage Semi-Zentrale Zu- und Abluftanlage mit WRG und Vortemperierung durch Sole-Erdwärmeübertrager
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Galt 2013 als die größte Passivhaus-Schulsanierung Deutschlands; wurde im Rahmen des ‚EnOB – Forschung für energieoptimiertes Bauen‘ des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie wissenschaftlich begleitet und gilt als Pilotprojekt; Plattenbau (Fertigteil Wand-Skelett Konstruktion); Dämmschürze im Bereich der Turnhalle; Einspeisung von Überschusswärme aus der Solaranlage unter dem Turnsaal; Monitoring; Betriebsoptimierung durch Gebäudesteuerungstechnik	

Projektbeispiel 13: Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus

²¹³ Bild- und Textquellen: (Kühhas 2013); www.enob.info / Zugriff 22.08.2014;

14

EVANGELISCHE SCHULE AM KARLSPLATZ, WIEN ²¹⁴

PROJEKTTYP

SANIERUNG / DENKMALGESCHÜTZTES GEBÄUDE



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Wien Karlsplatz 14, 1040 Wien Treberspurg & Partner Architekten 1861 / 2005 - 2012
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Primärenergie [kWh/(m ² a)]	3740 kA kA kA
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Fernwärme - Komfortlüftung mit WRG
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes von Theophil Hansen; Überdachung Innenhof (gemäß Originalplänen); Überdachung Lichthöfe (da keine externe Anbringung von Wärmedämmung möglich); Dachstuhl komplett ersetzt und hochwertig gedämmt wodurch zusätzliche Flächen geschaffen wurden; Erhöhung der Energieeffizienz durch verbessertes Volumen-Oberflächen-Verhältnis; Umsetzung von ‚anpassungsfähigen‘ Räumen und auf die Bedürfnisse der Pädagogen abgestimmtes Gesamtkonzept (enge Zusammenarbeit während der gesamten Planungs- und Bauphase mit dem Auftraggeber).	

Projektbeispiel 14: Evangelische Schule am Karlsplatz, Wien

²¹⁴ Bild- und Textquellen: (Gary 2012); www.treberspurg.com / Zugriff 22.08.2014

15

HANNAH ARENDT-SCHULE IN BOZEN ²¹⁵

PROJEKTTYP

SANIERUNG u. NEUBAU / NIEDRIGENERGIE STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	IT / Südtirol Wolkensteingasse 1, 39100 Bozen Claudio Lucchin Kloster aus dem 16. Jhd. / 2010-2013
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Primärenergie [kWh/(m ² a)]	2272 (neu) ka 48 124
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Erdgas - Kontrollierte Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Unterirdischer Zubau mit guten Wärmedämmeigenschaften; Lichtlenksysteme bringen Tageslicht bis 12m unter die Erde; Winterheizung bei Schulbetrieb nur zwischen 06.00 und 08.00; Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung; wenig Temperaturschwankungen durch konstante Erdreichtemperatur	

Projektbeispiel 15: Hannah Arendt Schule Bozen

²¹⁵ Bild- und Textquellen: energie:bau, Fachmagazin für Architektur und Technik | 02/2014; www.sozialberufe.berufsschule.it/ Zugriff 21.08.2014;

16

UHLANDSCHULE, GRUND- UND HAUPTSCHULE MIT WERKREALSCHULE ²¹⁶

PROJEKTTYP

SANIERUNG / PLUSENERGIE STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Projektsteuerun (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	DE / Baden-Württemberg Tapachstr. 4, 70437 Stuttgart Landeshauptstadt Stuttgart 1954 und 2004 / 2012 – 2014
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Heizlast [W/m ²] Luftdichtheit [1/h]	7058 168 39 ka ka
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Wärmepumpe 2370m ² Photovoltaikanlage
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Miniluftkanälen, Elektroinstallationen, Leitungen und Solarpaneele sind in Außenwand integriert; Einsatz von Vakuumdämmpaneelen in Außenwand und Fußböden; ein Teilbereich wurde bereits 2000-2004 saniert bzw. erneuert	

Projektbeispiel 16: Uhlanschule Grund und Hauptschule mit Werkrealschule

²¹⁶ Bild- und Textquellen: www.eneff-schule.de/ Zugriff 17.08.2013; [www.lamott.de /](http://www.lamott.de/) Zugriff 17.08.2013

17

EUROPA SCHULE REUTERSHAGEN ²¹⁷

PROJEKTTYP

SANIERUNG u. NEUBAU / PLUSENERGIE STANDARD



PROJEKT

Land / Bundesland

DE / Mecklenburg-Vorpommern

Adresse

Mathias-Thesenstr.18069 Rostock

Architekt (Sanierung)

IGEL (Institut für Gebäude- Energie- und Lichtplanung), Thomas Römhild

Baujahr / Sanierungszeitraum

1961 / 2010-2015 (Teil-Fertigstellung 2012)

ENERGIEBEDARF

Energiebezugsfläche [m²]

5600 (alt) + 3400 (neu)

HWB vor Sanierung [kWh/(m²a)]

97

HWB nach Sanierung [kWh/(m²a)]

49

Primärenergie [kWh/(m²a)]

36

HAUSTECHNIK

Wärme- und Warmwasser

ORC (Organic Rankine Cycle) Anlage

Stromerzeugung

ORC, Photovoltaikanlage, Kleinwindkraftanlage,

Lüftungssystem

Kontrollierte Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung

ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG

Wärmedämmung mit Holzverkleidung an allen Außenwänden; neue Kastenfenster; Satteldachkonstruktion wird zum Flachdach zurückgebaut; Dämmung der Bodenplatten mit PS-Hartschaum und Vakuum-Dämm-Paneelen; Ausbau Dachgeschoss; ‚Marktplatz‘ und Schulstraßen werden zu Zwischenklimazonen ausgebaut; Tageslichtkonzept mit Lichtlenk-Systemen

Projektbeispiel 17: Europa Schule Reutershagen

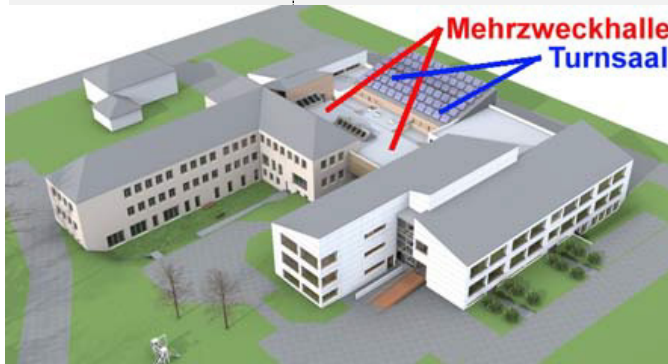
²¹⁷ Bild- und Textquellen: www.eneff-schule.de; www.enob.info.de; www.koe-rostock.de / Zugriff 17.08.2013

18

VOLKS- UND HAUPTSCHULE RAINBACH IM MÜHLKREIS ²¹⁸

PROJEKTTYP

SANIERUNG u. ZUBAU / NULLENERGIE STANDARD



PROJEKT	Land / Bundesland Adresse Architekt (Sanierung) Baujahr / Sanierungszeitraum	AT / Oberösterreich Schulstraße 16, Rainbach i.M Architekturbüro Böhm 1950 (Volksschule); 1972 (Hauptschule); 2012 - 2018
ENERGIEBEDARF	Energiebezugsfläche [m ²] HWB vor Sanierung [kWh/(m ² a)] HWB nach Sanierung [kWh/(m ² a)] Primärenergie [kWh/(m ² a)]	kA 100 10 kA
HAUSTECHNIK	Wärme- und Warmwasser Stromerzeugung Lüftungssystem	Pellets- und Hackschnitzel (Spitzenlast durch Gas) 50kWp PV Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung; bestehende Brunnenanlage als Wärmequelle
ARCHITEKTONISCHE SANIERUNG	Sanierung erfolgt auch zur Adaptierung des pädagogischen Konzepts der neuen Mittelschulen und Ganztagschulen mit größere Schulklassen und Freibereichen; Verbindung von zwei Schulen zu einer erhöht die Effizienz in der Raumnutzung; 3-Scheiben Isolierverglasung und externer Sonnenschutz; Nachtkühlung; keine abgehängten Decken (Nutzung der thermischen Masse); Tageslichtsensoren; LED Beleuchtung; vorgehängte Fassade aus vorproduzierten Holzelementen; alle Materialien ‚NaturePlus‘ zertifiziert	

Projektbeispiel 18: Volks- und Hauptschule Rainbach im Mühlkreis

²¹⁸ Bild- und Textquellen: www.rainbach.at / Zugriff 21.08.2014; Beschreibung des Sanierungskonzeptes aus (Domenig-Meisinger und Böhm 2013)

8.6. Lebenszykluskosten Berechnungstabellen

Lebenszykluskosten Berechnungstabellen 1: Kostengruppen gemäß ÖNORM B 1801-1 (Dubisch, et al. 2012).....	272
Lebenszykluskosten Berechnungstabellen 2: Kostenaufstellung nach Varianten: Sanierung Franz Jonas Europaschule (Dubisch, et al. 2012)	273

Kostengruppen gemäß ÖNORM B 1801-1; Orange = relevant für die Schulsanierung

GEK	ERK	BAK	BWK	BAUGLIEDERUNG 1.EBENE	BAUGLIEDERUNG 2. Und 3. EBENE
GESAMTKOSTEN	ERRICHTUNGSKOSTEN	BAUKOSTEN	BAUWERKSKOSTEN	0 Grund	Nicht relevant
				1 Aufschließung	1A Allgemein
					1B Baureifmachung
					1C Erschließung
					1D Abbruch, Rückbau
					1E Provisorien
				2 Bauwerk - Rohbau	2A Allgemein
					2B Erdarbeiten, Baugrube
					2C Gründungen,
					2D Horizontale Baukonstruktionen
					2E Vertikale Baukonstruktionen
					2F Spezielle Baukonstruktionen
					2G Rohbau zu Bauwerk-Technik
					3 Bauwerk - Technik
				3B Förderanlagen	
				3C Wärmeversorgungsanlagen	
				3D Klima-/Lüftungsanlagen	
				3E Sanitär-/Gasanlagen	
				3F Starkstromanlagen	
				3G Fernmelde-, Informations-	
				3H Gebäudeautomation	
				3I Spezielle Anlagen	
				4 Bauwerk - Ausbau	4A Allgemein
					4B Dachverkleidung
					4C Fassadenhülle
					4D Innenausbau
				5 Einrichtung	5A Allgemein
					5B Betriebseinrichtungen
5C Ausstattungen, Kunstwerke					
6 Außenanlagen	6A Allgemein				
	6B Geländeflächen				
	6C Befestigte Flächen				
	6D Bauteile Außenanlagen				
7 Planungsleistungen	7A Allgemein				
	7B Bauherrenleistungen				
	7C Planungsleistung				
8 Nebenleistungen	8A Allgemein				
	8B Baunebenleistungen				
	8C Planungsnebenleistungen				
9 Reserven	9A Allgemein				
	9B Reservemittel Budget				
	9C Reservemittel Steuerung				

Lebenszykluskosten Berechnungstabellen 1: Kostengruppen gemäß ÖNORM B 1801-1²¹⁹ (Dubisch, et al. 2012)

²¹⁹ Bauprojekt- und Objektmanagement Teil 1: Objektterrichtung, Ausgabe: 2009-06-01; für die Schulsanierung relevante Kostengruppen sind orange hervorgehoben

Kostenaufstellung nach Varianten: Sanierung Franz Jonas Europaschule

Baugliederung 2. Ebene und 3. Ebene		Maßnahmen SchulRen+ Konzept	Einheit	Menge	EUR / Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
						EUR gesamt netto	EUR gesamt netto	EUR gesamt netto
1D	Abbruch, Rückbau	Materialentsorgung	m2 BGF	5.186	5	25.930	25.930	8.643
3C.01	Wärmeerzeugungsanlagen	Solarthermie (Kantine, Turnhalle)	m2 Modul	30	500	15.000	15.000	15.000
3C.02	Wärmeverteilnetze	Pumpentausch (60-80% Stromeinsparung)	Stück	10	550	5.500	5.500	5.500
		Hydraulischer Abgleich		1	7.500	7.500	7.500	7.500
		Thermostatventile	Stück	200	60	12.000	12.000	12.000
3D.01	Lüftungsanlagen	Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung (25 dezentrale Geräte), Nachtkühlung	Stück	25	5.000	125.000	125.000	0
		Luftgüteampel	Stück	25	300	7.500	7.500	0
3F.02	Eigenstromversorgung	Photovoltaik (Dach)	m2 Modul	400	300	120.000	120.000	120.000
3F.05	Beleuchtungsanlagen	Lampentausch	m2 BGF	5.186	16	82.976	82.976	82.976
3G.01	Telekommunikationsanlagen	User-Feedback	m2 BGF	5.186	2	10.372	10.372	10.372
3H.01	Mess-, Steuer-, Regel- und Leitanlagen	Regelungstechnik für vorhandene Heizkreise	pro Heizkreis	4	2.000	8.000	8.000	8.000
		Verbrauchs- und Produktionsmonitoring		1	15.000	15.000	15.000	15.000
4C.01	Fassadenverkleidungen	Wärmedämmung Außenwand	m2 AW	3.980	100	398.000	199.000	199.000
4C.02	Fassadenöffnungen	Fenstertausch komplett oder teilweise, Holz-Alu	m2 FÖ	687	450	309.150	309.150	103.050
4D.03	Deckenverkleidungen	Wärmedämmung oberste Geschoßdecke	m2 OG	1.248	30	37.440	37.440	37.440
		Wärmedämmung Kellerdecke	m2 KD	1.248	25	31.200	31.200	31.200
4D.07	Spezielle Innenausbauteile	Gänge, Treppen abtrennen, nicht heizen	m2 IWF	500	86	43.000	43.000	0
		Innenraumgestaltung /neue Pädagogik: Möblierung flexibel, Trennwände	m2 IWF	500	86	43.000	43.000	0
7C	Planungsleistung							
	Energie	Gesamtenergiekonzept	Projekt	1	5.000	5.000	5.000	0
	Architektur	Clusterbildung Klasse / Gang Brandschutz	Projekt	1	5.000	5.000	5.000	0
		räumlich zusammenrücken, bei Teilbelegung weniger Räume bzw. nur einen Bereich nutzen				0	0	0
		Sonderbereiche Ganztagschule, Bibliothek, etc. evtl auf DG auslagern				0	0	0
		Nord/Süd Luftaustausch				0	0	0
						1.306.568	1.107.568	655.681
20%MwSt						261.314	221.514	131.136
						1.567.882	1.329.082	786.818

Lebenszykluskosten Berechnungstabellen 2: Kostenaufstellung nach Varianten: Sanierung Franz Jonas Europaschule (Dubisch, et al. 2012)

8.7. Abbildungen Originalgröße (Auszug)

Abbildung 4: Entwurf von J.I.Felbiger für ein Landschulhaus, 1783 (Lange 1967)

Abbildung 6: Gelehrtenschule des Johanneum, Hamburg 1840 (Lange 1967)

Abbildung 7: Volksschule, München, um 1875 (Lange 1967) (Lange 1967)

Abbildung 9: Grundriss-Vorbilder, Blatt 40 (Klasen 1884)

Abbildung 10: Grundriss-Vorbilder, Blatt 41 (Klasen 1884)

Abbildung 11: Grundriss-Vorbilder, Blatt 43 (Klasen 1884)

Abbildung 4: Entwurf von J.I.Felbiger für ein Landschulhaus, 1783 (Lange 1967)

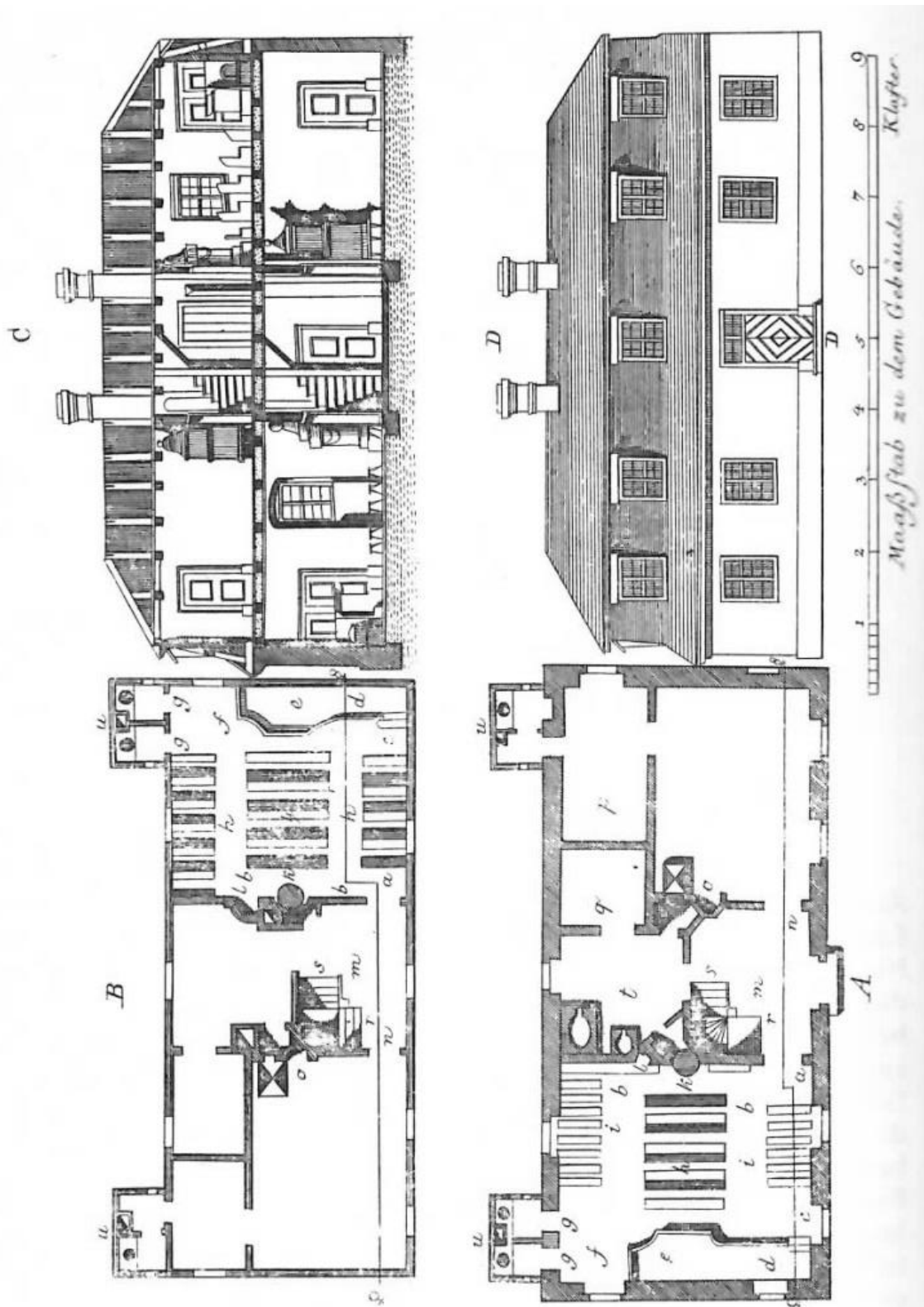
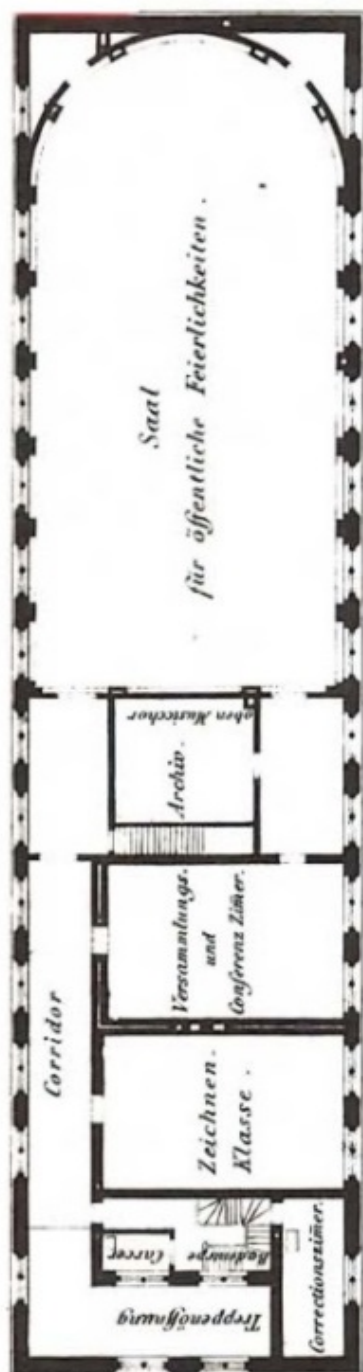
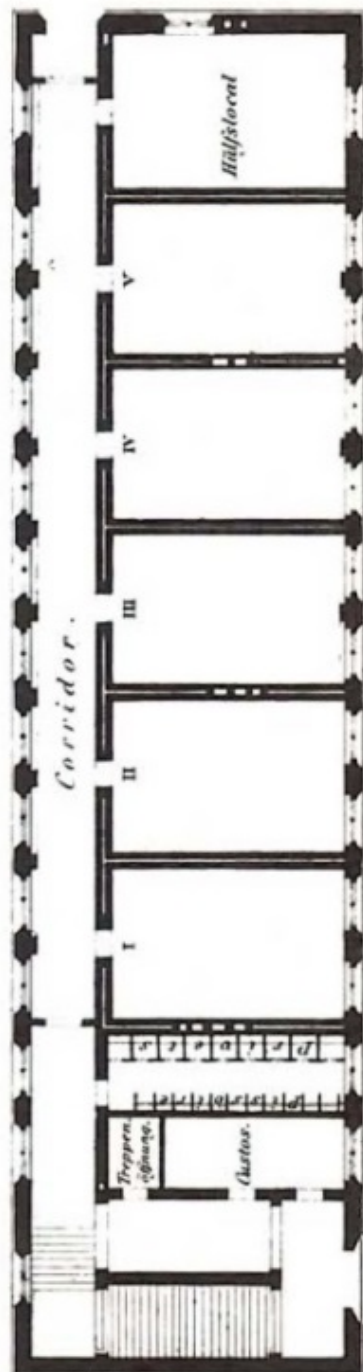


Abbildung 6: Gelehrtenschule des Johanneum, Hamburg 1840 (Lange 1967)



Grundplan der 0ten Etage



Grundplan der 1ten Etage

Abbildung 7: Volksschule, München, um 1875 (Lange 1967)

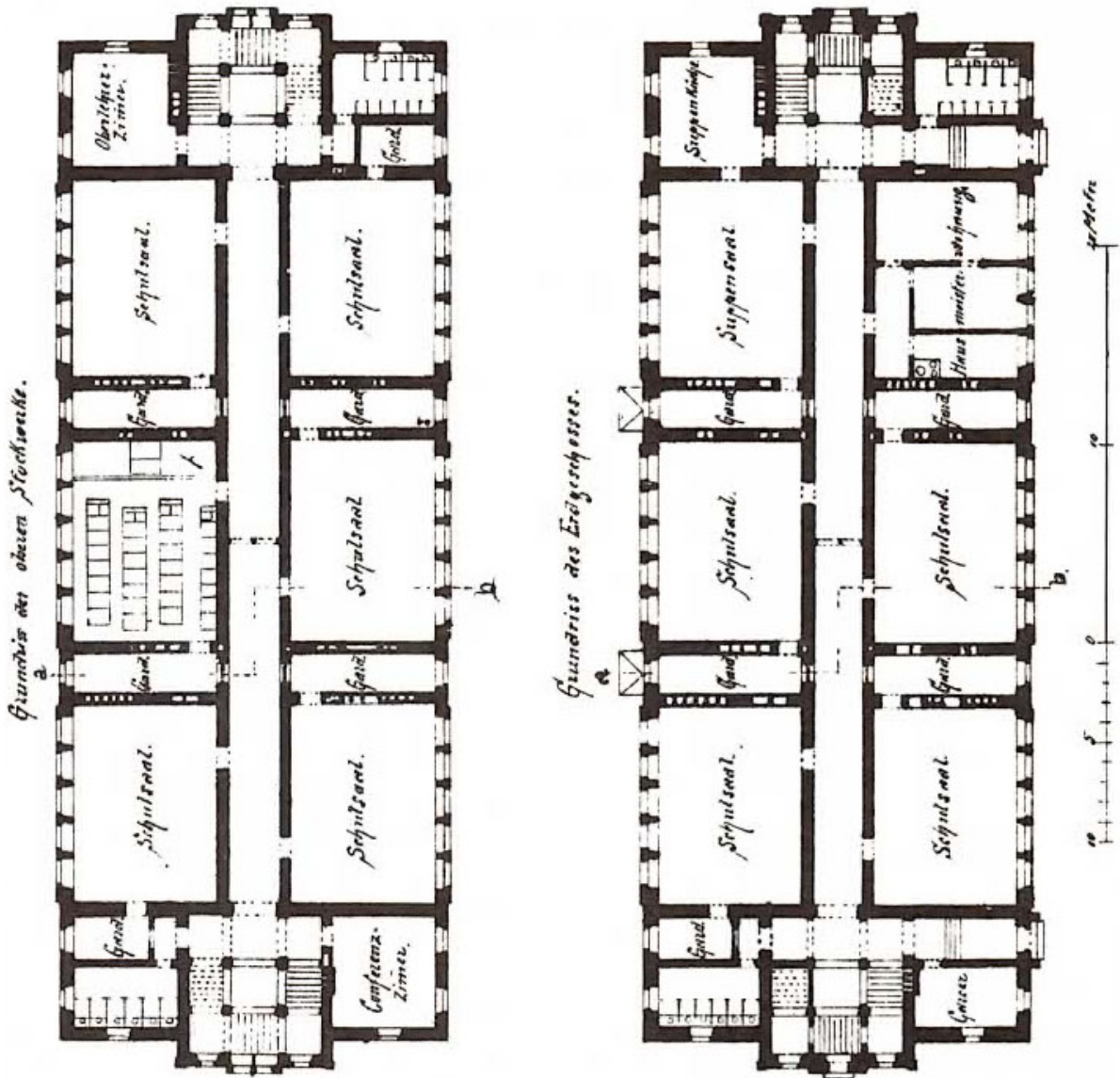


Abbildung 10: Grundriss-Vorbilder, Blatt 41 (Klassen 1884)



Abbildung 11: Grundriss-Vorbilder, Blatt 43 (Klassen 1884)

