



Stadt Zürich
Amt für Hochbauten

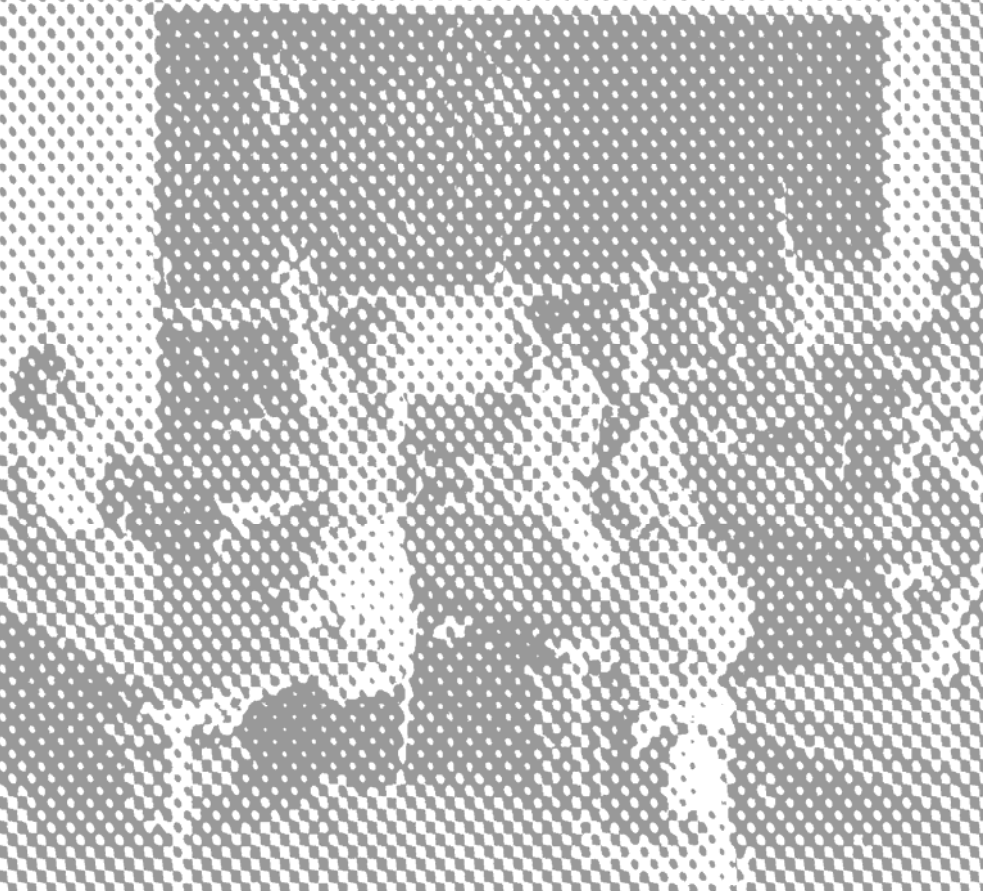
SCHULEN

auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft

SCHLUSSBERICHT

Teilprojekt "Szenarien"

06 | 2011



IMPRESSUM

Auftraggeberin:

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Fachstelle nachhaltiges Bauen
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Schlussbericht:

Annette Aumann, Amt für Hochbauten, annette.aumann@zuerich.ch
Heinrich Gugerli, Amt für Hochbauten, heinrich.gugerli@zuerich.ch
Katrin Pfäffli, Architekturbüro H.R. Preisig, pfaeffli@hansruedipreisig.ch

Projektausschuss Teilprojekt Szenarien:

Marcel Bachmann (ab 2010), Schulamt
Jan Capol (bis 2010), Amt für Städtebau
Heinrich Gugerli, Amt für Hochbauten
Katrin Jaggi (ab 2010), Amt für Städtebau
Christoph Rohner, Immobilien-Bewirtschaftung
Tony Vinzens (bis 2009), Schulamt
Sandra Zacher (Vorsitz), Amt für Hochbauten

Projektteam Teilprojekt Szenarien:

Annette Aumann (Projektleitung), Amt für Hochbauten
Urs Baur, Amt für Städtebau
Regula Iseli, Amt für Städtebau
Franziska Kaiser, Amt für Städtebau
Ueli Lindt, Amt für Hochbauten
Adrian Scheidegger, Schulamt
Franz Sprecher, Amt für Hochbauten
Gitt Tänzler, Immobilien-Bewirtschaftung
Christian Tiszberger, Immobilien-Bewirtschaftung
Ralph Wyer, Amt für Hochbauten
Yvonne Züger (Projektleitung Stv.), Amt für Hochbauten

Weitere städtische Beteiligte:

Daniel Kurz, Amt für Hochbauten
Beatrice Leuenberger, Amt für Hochbauten
Thomas Stohler, Schulamt
Mark Ziegler, Immobilien-Bewirtschaftung
Mitglieder der Kontaktgruppe Schulen

Externe Fachspezialisten:

Energienachweise Schulhäuser:
Christoph Gassmann, Silvia Gisler, Wichser Akustik & Bauphysik AG, gassmann@wichser.ch
Michael Herrmann, BAKUS Bauphysik & Akustik GmbH, herrmann@bakus.ch
Peter Gossweiler, Bauphysik Meier AG, pg@bauphysik-meier.ch
Graue Energie und Treibhausgasemissionen, Hochrechnung:
Katrin Pfäffli, Architekturbüro H.R. Preisig, pfaeffli@hansruedipreisig.ch
Mobilität: Stefan Schneider, Planungsbüro Jud, schneider@jud-ag.ch
Moderation Workshop III: Bettina Kurz, intgress partners, bkurz@sunrise.ch
Nachhaltigkeitsrating: Dieter Bischof, Amstein Walthert, dieter.bischof@amstein-walthert.ch
Solarpotential: Andreas Edelmann, edelmann energie, andreas@edelmann-energie.ch

Layout: Annette Aumann, Lada Blazevic

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen

Zürich, Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Zusammenfassung | 4 |
| 2 | Thematik, Prozess und Ziel | 6 |
| 2.1 | Thematik | 6 |
| 2.2 | Ausgangslage | 6 |
| 2.3 | Ziele Teilprojekt Szenarien | 6 |
| 2.4 | Beitrag Schulen..... | 7 |
| 2.5 | Projektorganisation | 8 |
| 3 | Schulhausportfolio der Stadt Zürich..... | 10 |
| 4 | Grundlagen und Vorgehen..... | 12 |
| 4.1 | Methodik..... | 12 |
| 4.1.1 | SIA-Effizienzpfad Energie | 12 |
| 4.1.2 | Die regionale Sicht der Stadt Zürich | 13 |
| 4.2 | Prozess: Erarbeitung Datengrundlagen und Annahmen | 13 |
| 5 | Varianten..... | 17 |
| 5.1 | Wahl der Varianten | 17 |
| 5.2 | Ist-Zustand | 17 |
| 5.3 | Variante 1..... | 18 |
| 5.4 | Variante 2..... | 19 |
| 5.5 | Ergebnisse der Diskussion von Variante 1 und 2..... | 20 |
| 5.6 | Variante "Konsens" | 22 |
| 6 | Resultate und Kommentar | 24 |
| 6.1 | Hochrechnungen auf ganzes Portfolio..... | 24 |
| 6.2 | Die ausgewählten Schulhäuser im Vergleich | 26 |
| 6.3 | Kosten und Nutzwert..... | 31 |
| 6.4 | Einflussgrößen und Sensitivitäten | 31 |
| 6.4.1 | Wachsender Flächenverbrauch pro Kopf | 31 |
| 6.4.2 | Komfort / Nutzerverhalten | 32 |
| 6.4.3 | Anteil Neubauten..... | 32 |
| 6.4.4 | Dämmung der Gebäudehülle versus Energieträger-Wechsel | 33 |
| 6.4.5 | Lüftung | 33 |
| 6.4.6 | Betriebseinrichtungen, Beleuchtung | 34 |
| 6.4.7 | Energiebeschaffung | 34 |
| 6.4.8 | Mobilität..... | 35 |
| 6.4.9 | Regionale Sicht der 2000-Watt-Gesellschaft für die Stadt Zürich | 35 |
| 6.4.10 | Innovation, neue Technologien..... | 38 |
| 7 | Implementierung und Ausblick..... | 39 |
| 7.1 | Implementierung | 39 |
| 7.2 | Ausblick..... | 44 |
| 8 | Anhang..... | 45 |
| 8.1 | Daten pro Schulhaus | 45 |
| 8.2 | Gegenüberstellung Messdaten, Standarddaten für den Ist-Zustand..... | 68 |
| 8.3 | Eingesetzte Defaultwerte für die Sanierungsvarianten..... | 68 |
| 8.4 | Effektive Belegungsdichten bei den untersuchten Schulhäusern | 69 |
| 8.5 | Primärenergiefaktoren und Treibhausgaskoeffizienten für Elektrizität und Fernwärme..... | 69 |
| 8.6 | Literaturverzeichnis | 71 |

1 Zusammenfassung

Gibt es ein oder mehrere Szenarien, bei denen für das Schulhausportfolio die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft im vorgegebenen Zeitraum erreicht werden und die gleichzeitig den weiteren relevanten Anforderungen wie Denkmalpflege, Architektur, Wirtschaftlichkeit und Nutzwert gerecht werden?

Diese Frage bildete den Ausgangspunkt des Projektes *Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft*, das 2008 im Rahmen des stadträtlichen Legislatorschwerpunktes *Nachhaltige Stadt Zürich – auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft* gestartet wurde.

In interdisziplinärer Arbeit von städtischen und externen Fachexperten aus den Bereichen Denkmalpflege, architektonische Beratung, Projektentwicklung, -ausführung, Bewirtschaftung, Gebäudetechnik, Nachhaltigkeit und Schulraumplanung wurde für die nächsten 11 instandzusetzenden Volksschulhäuser Massnahmen evaluiert, Szenarien gebildet und die entsprechenden Ergebnisse auf das Portfolio der Volksschulen hochgerechnet.

Hauptkenntnisse

- **Es gibt Szenarien, die die 2000-Watt-Ziele gemäss SIA-Effizienzpfad Energie erreichen:** Es gibt Szenarien, welche unter Annahme der Finanzierbarkeit das Etappenziel auf dem Weg zum 2000-Watt-kompatiblen Schulhausportfolio bis 2050 gemäss SIA-Effizienzpfad Energie [1] und Methodikpapier [2] bei konstantem Flächenverbrauch pro Schüler erreichen. Diese lassen sogar einen gewissen Entscheidungsspielraum bei der Wahl der Massnahmen zu. Die Massnahmen sind aber sehr weitgehend und deren Umsetzung in verschiedener Hinsicht eine Herausforderung (vgl. Kapitel 6).
- **Es wurde eine Konsenslösung erarbeitet:** Mit einem Massnahmenpaket einer im Rahmen des Projektes erarbeiteten Konsenslösung (Denkmalpflege / Architektur / Bewirtschaftung) können die Etappenziele nach SIA Effizienzpfad Energie bis 2050 knapp erreicht werden. Die Hauptvarianten wurden mit Schweizer Stromliefermix gerechnet. Durch Einsatz von Stromprodukten mit ökologischem Mehrwert (naturemade-star) kann der Spielraum noch erhöht werden.
- **Es gibt Szenarien, welche die Ziele der Gemeindeordnung bis 2050 erreichen:** Die Graue Energie zur Erstellung der Gebäude und der Verkehrsinfrastruktur werden bei dieser regionalen Betrachtung im Gegensatz zur Betrachtung des SIA-Effizienzpfades Energie nicht in die Bilanz eingeschlossen. Der Zielwert liegt bei der Reduktion der Treibhausgase entsprechend tiefer. Bei der Zielerreichung muss auch hier die zukünftige Energieversorgung der Stadt Zürich einen wesentlichen Beitrag leisten.
- **Die Finanzierung ist nicht gesichert:** Die Szenarien gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2050 alle Volksschulen einmal instandgesetzt werden. Nach Hochrechnung der Immobilien-Bewirtschaftung sind die dafür notwendigen Finanzen nicht gesichert. Dies ist auf den Anstieg der Kosten für Instandsetzungen aufgrund der zahlreichen Anforderungen zurückzuführen (hindernisfreie Gebäude, Feuerpolizei, Standards Ausstattung, Denkmalpflege, Energie, Nutzungsanforderungen etc.).

- **Der maximale Beitrag baulicher Lösungen wurde ermittelt:** Es wurde ausgelotet, was bauliche Massnahmen maximal zur Reduktion von Primärenergie und Treibhausgasemissionen beitragen können. Es wurden Sensitivitäten und Hebelwirkungen verschiedener baulicher Massnahmen an Gebäudehülle und -technik aufgezeigt. Dabei wurde die umfassende Betrachtungsweise nach Effizienzpfad Energie gewählt, die Heizung und Warmwasser, Licht + Apparate, Lüftung, Erstellung und Mobilität beinhaltet.
- **Eine rein bauliche Betrachtung genügt nicht, um die Ziele zu erreichen.** Es wurde jedoch deutlich, dass neben Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien Parameter der Suffizienz (Flächenzuwachs, Raumtemperaturen, Nutzerverhalten, Betriebsoptimierung) einen ebenso grossen Einfluss haben. Es braucht ein Zusammenspiel aller Parameter, um die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft erreichen zu können. Die Hochrechnungen in diesem Bericht gehen von einem konstanten Flächenverbrauch bis zum Jahr 2050 aus.
- **Der Portfolioansatz dient zur Festlegung und Verfolgung strategischer Ziele:** Die Studie zeichnet sich dadurch aus, dass sehr frühzeitig im Planungsprozess in interdisziplinärer Zusammenarbeit ein ganzes Portfolio über einen langen Zeitraum betrachtet wird. Dieses Vorgehen erlaubt es allen Beteiligten Ziele zu definieren und zu verfolgen, diese mit anderen Anforderungen abzuwägen und so den maximalen Handlungsfreiraum freizuspielen. Dieses Vorgehen kann auch auf weitere Portfolios angewendet werden. Die Erarbeitung der Grundlagendaten ist sehr aufwändig, allerdings handelt es sich zum grossen Teil um Daten, die im Planungsprozess der Instandsetzungen sonst zu späterem Zeitpunkt erhoben werden müssen.
- **Zur Umsetzung der baulichen Massnahmen wurde ein Vorgehen vereinbart.** Ausgehend vom Verfahrenshandbuch [9] wurden die relevanten Schritte für die Planung und das Controlling des Zielpfades benannt und die Zuständigkeiten von Immobilien-Bewirtschaftung, Amt für Städtebau und Amt für Hochbauten festgelegt.

Der Weg der Schulhäuser zur 2000-Watt-Gesellschaft nach Effizienzpfad Energie ist machbar, wenn

- die Finanzierung sichergestellt werden kann.
- die baulichen Massnahmen, welche in dieser Studie erarbeitet wurden, umgesetzt werden.
- auch nicht bauliche Lösungen gleichermassen umgesetzt werden. Dabei kommt den Ergebnissen aus dem Teilprojekt *Beitrag der Schulen* zu den Aspekten Flächenoptimierung, Nutzerverhalten, Multiplikation und Mobilität eine besondere Bedeutung zu (vgl. Abschnitt 2.4).
- langfristig geplant wird.
- ein Controlling des Zielpfades stattfindet und die Hochrechnung für weitere Schulhäuser in der strategischen Planung fortgesetzt wird.
- technische Errungenschaften verfolgt und eingesetzt werden.

2 Thematik, Prozess und Ziel

2.1 Thematik

Die rund 120 Volksschulanlagen der Stadt Zürich zeichnen sich durch eine überdurchschnittlich hohe baukulturelle Bedeutung aus - über die Hälfte der Anlagen sind im Inventar der Denkmalpflege. Um dieses Kulturgut zu erhalten und gleichzeitig die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen, müssen verschiedene Interessen abgewogen werden. Können die Schulbauten der Stadt Zürich dennoch diese Ziele erreichen? Ist das technisch machbar? Können aus denkmalpflegerischer und gestalterischer Sicht gute Lösungen gefunden werden? Und können diese finanziert werden?

2.2 Ausgangslage

2008/2009 wurde im Rahmen des Legislatorschwerpunktes *Nachhaltige Stadt Zürich – auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft* die Studie *Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft* durchgeführt. Ziel war es eine Antwort auf folgende Frage zu finden:

Gibt es ein oder mehrere Szenarien, bei denen für das Schulhausportfolio die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft im vorgegebenen Zeitraum erreicht werden und die gleichzeitig den relevanten Anforderungen der Denkmalpflege, Architektur, Wirtschaftlichkeit und Nutzwert gerecht werden?

Die Ergebnisse wurden von einer interdisziplinären Gruppe des Hochbaudepartments erarbeitet und am 21.01.2010 im Stadtrat präsentiert.

- Das Projekt hat ergeben, dass mit einem anspruchsvollen Szenario die primärenergetischen Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft erfüllt, die gemäss Methodikpapier [2] geforderte Treibhausgasreduktion jedoch nicht erreicht werden können.
- Der Flächenverbrauch pro Schüler hat sich seit 1960 in etwa verdreifacht. Die weitere Entwicklung des Flächenbedarfs ist ein entscheidender Faktor und eine zielführende Entwicklung des Projektes daher nur in Zusammenarbeit mit dem Schulamt möglich.
- Die Erkenntnisse beruhten aufgrund des hohen Aufwandes für die Erarbeitung von Datengrundlagen auf Annahmen. Eine weiterführende Erarbeitung von Daten macht nur für Schulhäuser Sinn, die in nächster Zeit instandgesetzt werden sollen und daher die Erhebung der Daten ohnehin nötig wird.

Diese und weitere Erkenntnisse führten zu einer Fortsetzung dieser Studie mit den zwei separaten Teilprojekten *Szenarien* und *Beitrag Schulen*.

2.3 Ziele Teilprojekt *Szenarien*

Für die nächsten 11 instandzusetzenden Schulhäuser sollen Massnahmen diskutiert und in Szenarien auf das ganze Portfolio hochgerechnet werden. Die Hochrechnung dient als Entscheidungsinstrument in der Strategischen Planung und bei Machbarkeitsstudien. Teilziele sind

- das nötige Wissen und Daten für die Hochrechnung erarbeiten.
- Szenarien und Bedingungen für mögliche Wege erarbeiten.
- Entscheidungsgrundlagen für Projektdefinitionen zukünftiger Baumassnahmen schaffen.
- eine gemeinsame Werthaltung und Zielsetzung aller beteiligten Dienstabteilungen für Baumassnahmen an Schulanlagen erarbeiten.

Die Hochrechnung soll der Beurteilung der Relevanz einzelner Instandsetzungsmassnahmen in Projekten, einzelner Projekte für das Portfolio und der Beurteilung des gesamten Portfolios dienen. Diese frühzeitigen Überlegungen sollen einen möglichst grossen Entscheidungsfreiraum schaffen und das Festlegen von strategischen Zielen für alle Beteiligten ermöglichen. Die Nutzung der Erkenntnisse der Hochrechnung soll in die Prozesse integriert und umgesetzt werden.

Abgrenzung: Die Entscheide konkreter Instandsetzungsmassnahmen werden wie bislang im Rahmen der ordentlichen Projektdefinition gemäss Verfahrenshandbuch für allgemeine Hochbauvorhaben der Stadt Zürich gefällt.

Der vorliegende Schlussbericht beinhaltet ausschliesslich das Teilprojekt *Szenarien*.

2.4 Teilprojekt *Beitrag Schulen* – Stand Januar 2011

Erarbeitung durch das Schulumt

Ausgangslage

Ziel des Projektes *2000-Watt-Gesellschaft: Der Beitrag der Schulen* ist es, den Handlungsspielraum auszuloten, den die Schulen im Hinblick auf die Erreichung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft haben. Das Projekt besteht wiederum aus zwei Teilprojekten:

- Ebene Stadt: Flächenentwicklung
- Ebene der einzelnen Schule: Einbezug ins Schulprogramm

Teilprojekt Flächenentwicklung

In diesem Teilprojekt geht es grundsätzlich um die Klärung der Frage, wie die übergeordneten Rahmenbedingungen auf Ebene Stadt in Richtung der Erreichung der 2000-Watt-Ziele angepasst werden können. Im Zentrum steht in einem ersten Schritt die Entwicklung des Flächenbedarfs. Dies ist damit begründet, dass die Entwicklung des Flächenbedarfs ein wesentlicher Bestimmungsfaktor für die Entwicklung des Energiebedarfs und des Treibhausgasausstosses der Schulen ist.

Mit dem Projekt soll eine Grundlage gelegt werden für die vertiefte Diskussion des mittel- und langfristigen Raumbedarfs der Schule im Rahmen der Umsetzung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft.

Das Projekt steht im Spannungsfeld zwischen den Vorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft einerseits und den ebenfalls gesellschaftlich und politisch legitimierten Anforderungen an die Schule andererseits:

- Die Entwicklung des Raumbedarfs im Portfolio Schulen ist im Wesentlichen durch die Aufgaben bestimmt, welche die Schulen zu übernehmen haben. Diese haben in den vergangenen Jahrzehnten zugenommen. Aktuell werden sie durch das Volksschulgesetz und durch die Lehrpläne definiert.
- Die Umsetzung der Lehrpläne und der übergeordneten Rahmenbedingungen in einen konkreten Raumbedarf ist in den kantonalen Schulbaurichtlinien festgehalten. Diese definieren den Raumbedarf pro Klasse - der Raumbedarf pro SchülerIn leitet sich damit aus den kantonalen Richtlinien und den Vorgaben zur Klassengrösse ab.
- Die durch die Richtlinien festgelegte Raumbedarf pro Klasse ist in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen - gleichzeitig sind die Klassengrössen bis vor einigen Jahren stetig gesunken.
- Entsprechend wird die Frage *Wie viel Raum steht der Schule zur Verfügung* am Ende politisch entschieden.

Konkret sollen in einem externen Auftrag an die Pädagogische Hochschule Zürich (PHZH) die langfristigen Perspektiven geöffnet und die Sensibilität für die schulischen und politischen Diskussionen geschaffen werden. In einem ersten Schritt sollen die folgenden Kernfragen geklärt werden:

1. Wie könnten sich die Rahmenbedingungen des Schulbetriebs in den nächsten 40 Jahren entwickeln (Stichworte: Integration/Separation; Klassengrößen; Betreuungsangebot: gebundene/ungebundene Tagesschulen)
2. Abgeleitet aus diesen Rahmenbedingungen: Welche Modelle für Schule, Unterricht und Betreuung könnten im Jahr 2050 angewendet werden?
3. Welches sind die Raumanforderungen der verschiedenen Modelle? Wie sind diese Raumanforderungen mit den bestehenden Strukturen vereinbar (z.B. durch Untersuchung an typischen Vertretern der relevanten Bautypologien)?

Eine entsprechende Offerte der PHZH liegt vor. Vor einer definitiven Auftragserteilung ist allerdings eine Weiterentwicklung notwendig, da sie noch nicht vollständig den Vorstellungen des Schulamtes entspricht.

Aufgrund der Budgetrückweisung durch den Gemeinderat können allerdings vorläufig keine Finanzen zugesichert und Aufträge gesprochen werden. Zum heutigen Zeitpunkt ist zudem unklar, wie viel Geld im neuen, reduzierten Budget für langfristige Entwicklungsprojekte verfügbar sein wird.

Teilprojekt Unterstützungsangebote

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ, Umweltschutzfachstelle) entwickelt. Ansatzpunkte sind:

- Ganzheitliche Betrachtung der verschiedenen Qualitätsbereiche der Schulen im Hinblick auf Nachhaltigkeit im Rahmen eines Pilotprojektes (*Pilotschulen für Nachhaltige Entwicklung*).
- Daraus abgeleitet: Zielvorstellung Nachhaltige Schule: Die Schulen werden dabei unterstützt, ein Schulprogramm zu erarbeiten, das den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft eine angemessene Rolle zuweist. Daraus abgeleitet ergeben sich allenfalls weitergehende Bedürfnisse, wie z.B. nach Unterrichtsdossiers.

Im Fokus des Projektes steht dabei die gesamte Schule, nicht die einzelne Lehrperson. Zu beachten ist, dass aktuell nur diejenigen Inputs seitens Verwaltung wirklich bei den Schulen ankommen, welche eine Unterstützung im Alltag bewirken.

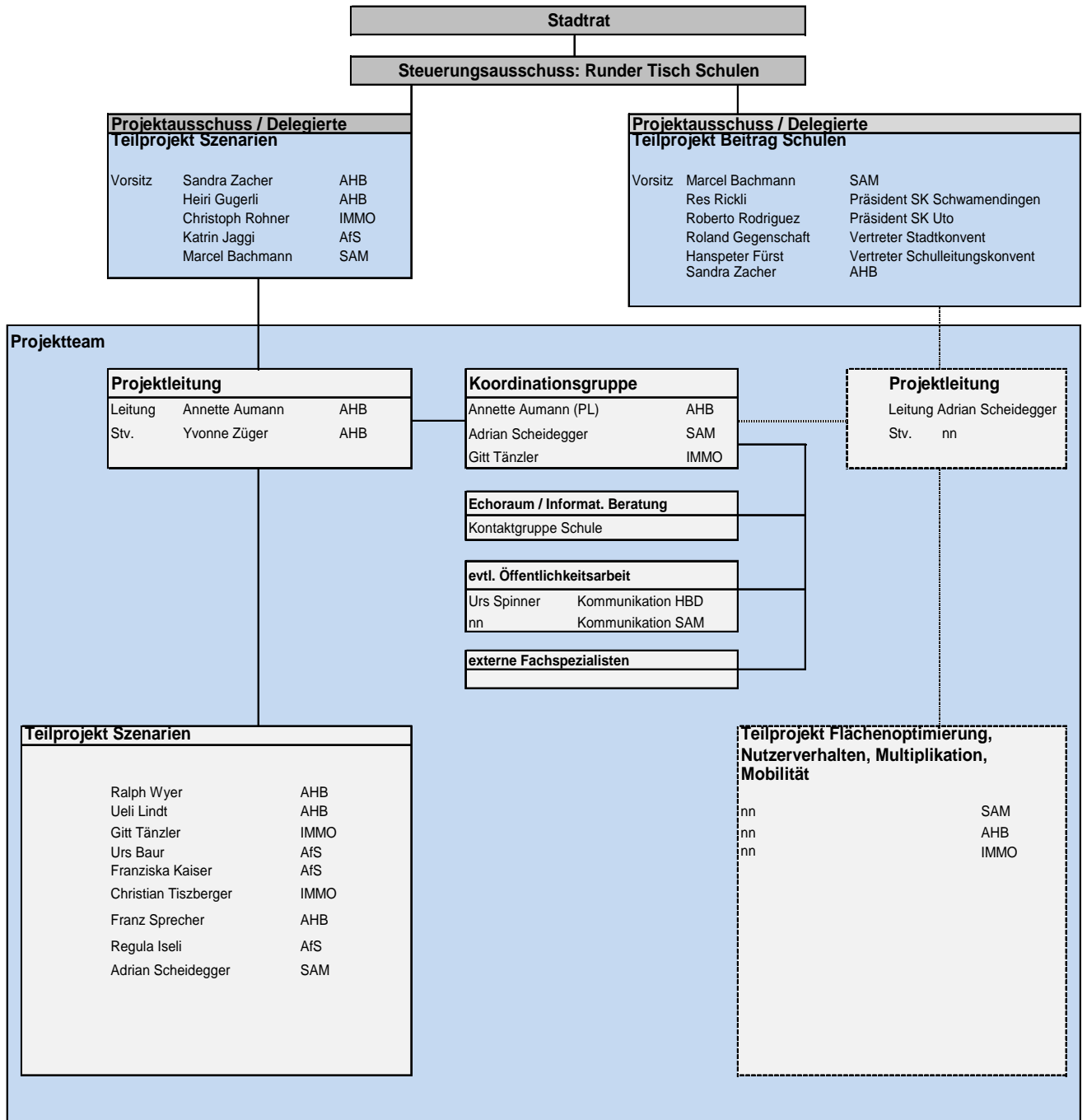
Nächste Schritte: Diskussion von Inhalt und Vorgehen im städtischen Schulleitungskonvent (ca. März 2011).

2.5 Projektorganisation

Das Teilprojekt *Szenarien* befasst sich hauptsächlich mit baulichen Belangen und wird vom Amt für Hochbauten geleitet. Das Teilprojekt *Beitrag der Schulen* mit den Themen Flächenoptimierung, Nutzerverhalten / Schulbetrieb und Multiplikation erfordert eine enge Zusammenarbeit mit verschiedensten Akteuren aus dem schulischen Umfeld und wird vom Schulamt geleitet. Es wird gegenüber dem Teilprojekt *Szenarien* zeitlich verschoben abgewickelt und hat daher eine eigene unabhängige Projektorganisation.

Die Koordination zwischen den beiden Teilprojekten wird durch den gegenseitigen Einsitz im Projektausschuss sowie auf der Ebene Projektteam durch die Koordinationsgruppe sichergestellt. Der gemeinsame Erfolg in beiden Themenbereichen ist entscheidend, um die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft für die Volksschulen der Stadt Zürich zu erreichen.

Figur 1: Projektorganisation für die Teilprojekte *Szenarien* und *Beitrag Schule*



3 Schulhausportfolio der Stadt Zürich

Der Gebäudepark *Schulen und Schulsport* ist das grösste Portfolio der städtischen Bauten umfasst mit einem Gebäudeversicherungswert von ca. CHF 1'700 Mio. rund 30% des gesamten Verwaltungsvermögens der Stadt Zürich. Über die Hälfte der rund 120 Schulanlagen sind im Inventar der Denkmalpflege aufgeführt.

Für die vorliegende Studie wurden die nächsten 11 instanzzusetzenden Schulhäuser untersucht. Die Schulhäuser befanden sich zum Zeitpunkt der Auswahl noch in einer sehr frühen Planungsphase - alle vor der Phase 1 *Strategische Planung* gemäss *Verfahrenshandbuch für allgemeine Hochbauvorhaben der Stadt Zürich* [9]. Um eine Hochrechnung auf das gesamte Portfolio zu ermöglichen wurde die Auswahl um einen hypothetischen Neubau und einen hypothetischen Bau aus den 80er Jahren ergänzt.

Figur 2: Ausgewählte Schulhäuser der Stadt Zürich [12]



Schulhaus Hans Asper

Schulkreis Uto, Kilchbergstrasse 28, 8038 Zürich

Erbaut 1912 (Architekt F. Fissler), Innensanierung 1972, Fensterersatz 1998

Primarschulhaus mit Turnhalle

Denkmalschutz: Schutzzumfang Fassaden und Korridore



Schulhaus Borrweg

Schulkreis Uto, Borrweg, 8055 Zürich

Erbaut 1973 (Architekt V. Langenegger)

Primarschulhaus mit Turnhalle und Schwimmbhalle

Denkmalschutz: Keine Auflagen



Schulhaus Hofacker

Schulkreis Zürichberg, Hofackerstrasse 45, 8032 Zürich

Erbaut 1898 (Architekt F. Wehrli)

Primarschulhaus mit Turnhalle

Denkmalschutz: Schutzzumfang Fassaden, Eingangshalle, Treppenhaus



Schulhaus Kern

Schulkreis Limmattal, Kernstrasse 45, 8004 Zürich

Erbaut 1902-1904 (Architekt A. Geiser), Innensanierung 1976

Primarschulhaus mit Turnhalle

Denkmalschutz: Schutzzumfang Fassaden, Treppenhaus



Schulhaus Kornhaus

Schulkreis Limmattal, Limmatstrasse 176, 8005 Zürich

Erbaut 1941 - 1943 (Architekt A.H. Steiner)

Primarschulhaus

Denkmalschutz: Schutzzumfang Fassaden inkl. Fenster, Korridore, Schulräume



Schulhaus Lavater

Schulkreis Uto, Schulhausstrasse 1, 8002 Zürich

Erbaut 1897 (Architekt G. Gull)

Primarschulhaus, Turnhalle als Einzelgebäude

Denkmalschutz: Schutzzumfang Fassaden



Schulhaus Leimbach

Schulkreis Uto, Wegackerstrasse 40, 8041 Zürich

Erbaut 1900 (Architekt F. Wehrli), Um- und Anbauten 1943 und 1981

Primarschulhaus, Turnhalle als Einzelgebäude

Denkmalschutz: keine Auflagen



Schulhaus Loogarten

Schulkreis Letzi, Eugen-Huber-Strasse 145, 8048 Zürich

Erbaut 1969 - 1975 (Architekten Naef+Studer+Studer)

Primarschulhaus, Turnhalle als Einzelgebäude

Denkmalschutz: Fassadenmalerei / Kunst am Bau



Schulhaus Münchalde

Schulkreis Zürichberg, Mühlebachstrasse 180, 8008 Zürich

Erbaut 1910 (Architekten J.E. Meier-Braun + J. A. Arter), Innensanierung 1973

Sekundarschulhaus, Turnhalle integriert

Denkmalschutz: Schutzzumfang Fassaden, Korridore, Treppenhausbereich



Schulhaus Schauenberg

Schulkreis Glattal, Lerchenhalde 40, 8046 Zürich

Erbaut 1969 (Architekten J. de Stoutz + W. Adam + F. Baldes), Fassadenisolation 1986

Primarschulhaus, Turnhalle als Einzelgebäude

Denkmalschutz: keine Auflagen



Schulhaus Sihlweid

Schulkreis Uto, Sihlweidstrasse 5, 8041 Zürich

Erbaut 1973 (Architekten Müller + Nietlispach)

Primarschulhaus, Turnhalle integriert

Denkmalschutz: keine Auflagen

Hypothetisches Schulhaus 80er Jahre



Hypothetisches Schulhaus Neubau

Daten sind interpolierte Werte auf Basis folgender Grundlagen:

Anforderungen Machbarkeitsstudie Wettbewerb Blumenfeld, Zürich

Messergebnisse Schulhaus Eichmatt, Cham und Hünenberg.

4 Grundlagen und Vorgehen

4.1 Methodik

4.1.1 SIA-Effizienzpfad Energie

Als Basis für die Berechnung gilt das SIA Merkblatt 2040 *SIA-Effizienzpfad Energie*, welches sich zurzeit in Vernehmlassung befindet [1]. Der SIA-Effizienzpfad Energie zeigt auf, wie das Etappenziel der 2000-Watt-Gesellschaft für das Jahr 2050 im Gebäudebereich erreicht werden kann. Es stützt sich dabei auf die Definition in dem Dokument *Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft*, einem Gemeinschaftsprojekt von Stadt Zürich, Bundesamt für Energie, EnergieSchweiz für Gemeinden und Novatlantis [2]. Der SIA-Effizienzpfad Energie ergänzt die Zielsetzungen dieses Dokumentes durch Werte für die nicht erneuerbare Primärenergie. Aus den Ist-Werten im Jahr 2005 und den Soll-Werten im Jahr 2050 lassen sich für den Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen in der Schweiz Reduktionsfaktoren ableiten. Bei der vorliegenden Studie wurde bewusst nur das Etappenziel bis 2050, also der nächste Instandsetzungszyklus, bzw. der entsprechende Ersatzneubau untersucht. Aussagen für das Ziel bis 2150 können aus der Untersuchung nicht abgeleitet werden.

Tabelle 1: Tabellen 1 und 2 aus SIA-Effizienzpfad Energie MB2040

| | | 2005 | 2050 | Reduktionsfaktor |
|--|--------------|-------|-------|------------------|
| Primärenergie gesamt (erneuerbar + nicht ern.) | W pro Person | 6'300 | 3'500 | 0.55 |
| Primärenergie nicht erneuerbar | W pro Person | 5'800 | 2'000 | 0.34 |
| Treibhausgasemissionen | t pro Person | 8.5 | 2.0 | 0.23 |

Der SIA-Effizienzpfad Energie gibt Zielwerte für die beiden Grössen *Primärenergie nicht erneuerbar* und *Treibhausgasemissionen*. Nach der gleichen Methodik wurde für diese Studie auch ein Sollwert für die *Primärenergie gesamt* hergeleitet (Primärenergie erneuerbar und nicht erneuerbar, inklusive der durch Eigenproduktion gewonnenen erneuerbaren Energie am Standort). Die Ermittlung der Ziel- und Sollwerte geht dabei von der Annahme aus, dass der proportionale Anteil des Energieverbrauchs im Gebäudebereich am gesamten Energieverbrauch in der Zeitspanne von 2005 bis 2050 gleich bleibt. Dazu wurde für jede Gebäudekategorie der Ist-Zustand ermittelt und mit den oben genannten Reduktionsfaktoren auf den Soll-Zustand reduziert.

Tabelle 2: Zielwerte und orientierende Richtwerte für die Gebäudekategorie Schulen nach SIA-Effizienzpfad Energie und für Primärenergie gesamt gemäss SIA Dokumentation D 0236 [13]

| | | Primärenergie gesamt [MJ/m ²] | | Primärenergie nicht erneuerbar [MJ/m ²] | | Treibhausgasemissionen [kg/m ²] | |
|------------------|----------------------|---|-------|---|-------|---|-------|
| SCHULEN | | Neubau | Umbau | Neubau | Umbau | Neubau | Umbau |
| | Richtwert Erstellung | -- | -- | 110 | 60 | 8.0 | 5.0 |
| | Richtwert Betrieb | -- | -- | 180 | 230 | 3.0 | 6.0 |
| | Richtwert Mobilität | -- | -- | 50 | 50 | 3.0 | 3.0 |
| Zielwerte | | 630 | | 340 | | 14.0 | |

Die 2000-Watt-Gesellschaft steht für eine Gesamtenergiebetrachtung. Im SIA-Effizienzpfad Energie wird entsprechend der Ressourcenaufwand für die Erstellung und Sanierung von Bauten (die sogenannte Graue Energie bzw. Grauen Treibhausgasemissionen), der Betrieb und die Gebäudestandortabhängige Mobilität betrachtet. Der Zielwert entspricht der Summe der Ressourcenaufwände in diesen drei Verwendungszwecken.

Für den Strom wurden in der vorliegenden Studie die Kennwerte des Schweizer Stromliefermix eingesetzt. Während der Erstellung der Studie war der SIA-Effizienzpfad Energie in der Vernehmlassung. Die Methodik wurde im Laufe der Studie um eine Option ergänzt: Auch Stromprodukte mit ökologischem Mehrwert (z.B. *naturemade-star*) können berücksichtigt werden. Im Kapitel 6.4.7 ist diese Sensitivität aufgezeigt. Die den Berechnungen zugrundeliegenden Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionen sind im Anhang (vgl. Kapitel 8.5) dokumentiert.

Die Kennwerte der elf Beispielschulhäuser wurden flächengewichtet auf das Portfolio der Volksschulen der Stadt Zürich hochgerechnet (Details vgl. Kapitel 6.1).

4.1.2 Die regionale Sicht der Stadt Zürich

Die Zürcher Bevölkerung hat im November 2008 für eine Verankerung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft in der Gemeindeordnung gestimmt. Die Zielwerte für das Jahr 2050 und die Methodik der Berechnung der regionalen Sicht und des SIA-Effizienzpfades Energie unterscheiden sich gemäss Methodikpapier [2] in folgenden Punkten:

- Auf Stufe Region beziehungsweise Stadt stehen bislang keine Daten für den Import/ Export-Saldo von Gütern und Dienstleistungen zur Verfügung. Die Graue Energie und Grauen Treibhausgasemissionen für die Erstellung und Instandsetzung der Gebäude, sowie für die Verkehrsinfrastruktur und die Graue Energie der Fahrzeuge fließen daher in der regionalen Sicht nicht in die Kernbilanz mit ein. Es ist geplant, diese Werte in einer ergänzenden Schattenrechnung auszuweisen.
- Beim Betrieb der Bauten gibt es keine wesentlichen Unterschiede, nur die graue Energie der Anlagen für die Eigenproduktion erneuerbarer Energien am Standort wird auf Stufe Region nicht der Erstellung, sondern dem Betrieb zugerechnet.
- Auf Stufe Region werden der effektive, regionale Stromliefermix und die entsprechenden Daten für die Fernwärme eingesetzt werden. Die verwendeten Daten sind im Anhang (vgl. Kapitel 8.5) aufgeführt. Die Stromprodukte müssen im Gegensatz zum Effizienzpfad Energie keinen ökologischen Mehrwert aufweisen.
- Auch bei der Mobilität sind die Bereiche nicht ganz deckungsgleich: auf Stufe Region gilt für die Verkehrserhebung das Territorialprinzip, beim SIA-Effizienzpfad Energie dagegen wird die induzierte Mobilität erfasst.

Da bei der regionalen Betrachtung für die Kernbilanz weniger Verwendungszwecke berücksichtigt werden, sind entsprechend die Zielwerte für das Jahr 2050 tiefer: Während beim SIA-Effizienzpfad Energie eine Reduktion der Treibhausgasemissionen auf 2 Tonnen pro Kopf erreicht werden soll, liegt das Ziel der regionalen Betrachtung für die Stadt Zürich im Jahr 2050 gemäss Gemeindeordnung bei 1 Tonne (vgl. Kapitel 6.4.9).

4.2 Prozess: Erarbeitung Datengrundlagen und Annahmen

Für die elf ausgewählten Schulhäuser mussten soweit möglich Daten erhoben, respektive Annahmen getroffen werden. Dieser Anteil macht einen Grossteil des Arbeitsaufwandes des Projektes aus. Der Hauptteil der Daten wird im üblichen Planungs- und Projektierungsprozess einer Instandsetzung der jeweiligen Schulhäuser zu einem späteren Zeitpunkt erhoben.

4.2.1 Abklärungen Schutzzumfang

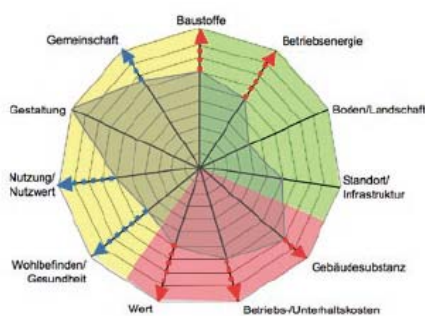
Ausführung durch AfS, praktische Denkmalpflege und Inventarisierung

Acht der elf ausgewählten Schulhäuser sind inventarisiert. Diese wurden vor Ort besichtigt und der Schutzzumfang der relevanten Bauteile (Fassaden, Dächer etc.) festgelegt.

4.2.2 Nachhaltigesrating

Die 11 Schulhäuser wurden durch das Nachhaltigkeitsrating umfassend beurteilt. Entscheide basieren grundsätzlich auf einer ganzheitlichen Betrachtung.

Figur 3: Nachhaltigkeitsrating Schulhaus Milchbuck (vor Instandsetzung)



Das Nachhaltigkeitsrating ist ein Instrument zur Evaluierung nachhaltiger Erneuerungsstrategien - hier am Beispiel Schulhaus Milchbuck (vor dessen Instandsetzung): bewertet werden die Bereiche Gesellschaft (gelb), Wirtschaft (rot) und Umwelt (grün). Der graue Bereich zeigt die Analyse des IST-Zustandes, die Pfeile das Verbesserungspotential.

4.2.3 Erhebung Belegung der Schulhäuser

Für die 11 Schulhäuser wurde die Anzahl der Nutzer (Lehrer, Schüler, Kindergärtner), sowie deren täglich zurückgelegten Wege zur Schule eruiert.

4.2.4 Solarpotential

Es wird die Option untersucht, ob eine Solarstromanlage auf den Dächern der Schulbauten oder naher Nebengebäude, wie beispielsweise Turnhallen, möglich ist und in Variante 2 und Variante Konsens einbezogen. Wenn das Potenzial vorhanden ist, wurde der mögliche Ertrag errechnet. In der grafischen Darstellung wird das Solarpotential als Negativ-Säule (Werte unter 0) eingesetzt. Die Höhe der Säule entspricht nicht dem Ertrag der Solaranlage, sondern dem Einsparpotential im Vergleich zum dargestellten Primärenergieverbrauch bzw. den Treibhausgasemissionen. Das erlaubt es, die im negativen Bereich dargestellte Säule 'Solarpotential', in direkten Vergleich zu setzen mit der im positiven Bereich dargestellten Säule, die ohne Nutzung von Solarenergie gerechnet ist. Wird das Solarpotential genutzt, kann die Säule Solarpotential von der im positiven Bereich dargestellten Säule subtrahiert werden.

4.2.5 Primärenergie und Treibhausgasemissionen Erstellung

Berechnet wurden die Graue Energie und die Grauen Treibhausgasemissionen gemäss den Grundlagen nach SIA Merkblatt 2032 *Graue Energie von Gebäuden* [3]. Die Graue Energie wurde für alle Schulhäuser effektiv und in Varianten berechnet. Da alle Schulhäuser mehr als 30jährig sind, darf die ursprünglich für die Erstellung investierte graue Energie als amortisiert betrachtet werden. Im Ist-Zustand haben also alle 11 Schulhäuser bei der Grauen Energie den Wert 0 MJ/m². Für die Sanierungsvarianten wurden diejenigen Bauteile berechnet, welche dem Bau neu zugeführt werden. Es sind dies insbesondere neue Fenster, Dämmungen und Beklei-

dungen für die Aussenwände und Dächer. Die effektiven Bauteilflächen wurden den Heizwärmebedarfsrechnungen entnommen.

Für den Prototyp ‚80er Jahre-Bauten‘ wurde im Ist-Zustand die Graue Energie als noch nicht amortisiert eingesetzt. Für die Sanierungsvarianten wurde davon ausgegangen, dass bis dahin deren Graue Energie ebenfalls amortisiert sein wird.

Die zum Vergleich eingesetzten Neubauten zeigen naturgemäss einen deutlich höheren Ressourcenaufwand für die Erstellung, als die untersuchten Sanierungsvarianten.

4.2.6 Primärenergie und Treibhausgasemissionen Betrieb

Raumheizung: Anhand von Begehungen vor Ort wurde von drei Bauphysik-Büros der Ist-Zustand der Schulbauten erfasst, Flächenauszüge erstellt und die bestehenden Konstruktionen so weit wie möglich aufgenommen. Aufgrund dieser Aufnahmen konnte eine Heizwärmebedarfsrechnung nach SIA 380/1 erstellt werden. Aus diesen Berechnungen stammt auch die Energiebezugsfläche der Schulbauten. Zu allen Schulanlagen wurden Heizwärmebedarfsrechnungen nach SIA 380/1 in Varianten (vgl. Kapitel 5) gerechnet.

Warmwasser: Die Warmwassererwärmung in den Schulanlagen erfolgt zum Teil über die Heizanlagen. Dies gilt insbesondere für die Warmwasser-intensive Nutzung in den Duschräumen der Turnhallen. Kleinere Zapfstellen, welche vor allem für die Reinigung gebraucht werden, sind zum Teil so dezentral in den weitläufigen Schulanlagen angeordnet, dass die Leitungsverluste zu gross wären: an diesen Stellen wird das Wasser in elektrischen Durchlauferhitzern erwärmt.

Energieträger: Im Ist-Zustand wurden die effektiv installierten Heizsysteme berücksichtigt. Für die Varianten (siehe Kapitel 5, Tabelle 5) wurde abgeklärt, bei welchen Schulhäusern Erdsonden-Wärmepumpen möglich sind. Bei jenen Schulhäusern, in denen keine Nutzung der Erdwärme erlaubt ist, wurden Pellets-Heizungen eingesetzt. Das Schulhaus Asper soll mit Biogas beheizt werden. Das Schulhaus Kornhaus wird heute, wie wohl auch in Zukunft, mit Fernwärme aus der Kehrlichtverbrennungsanlage beheizt.

Lüftung: In Zusammenarbeit von Denkmalpflege und Gebäudetechnik wurde abgeklärt, welche Leitungsführungen und Systeme (automatische Fensterlüftung und Lüftung mit Wärmerückgewinnung) in den jeweiligen Schulhäusern möglich sind und entsprechende Werte für die elektrische Hilfsenergie und den thermisch relevanten Luftwechsel in den Energienachweisen nach SIA 380/1 eingesetzt (vgl. Kapitel 6.4.5).

Betriebseinrichtungen, Beleuchtung: Für die elektrischen Hilfsenergien für Heizung und Warmwasser wurden Erfahrungswerte (Default-Werte) gemäss SIA Effizienzpfad Energie eingesetzt. Auch für den Energiebedarf für die Beleuchtung und die Betriebseinrichtungen wurden Standardannahmen eingesetzt. Diese stützen sich auch auf Erhebungen des Amts für Hochbauten [4] und entsprechen den Default-Werten des SIA-Effizienzpfades Energie. Es handelt sich hierbei um ambitionierte Werte, die nur mit Einsatz bester verfügbarer Technologie erreicht werden können. Die meisten älteren Schulhäuser haben noch keinen Lift und sind also nicht zugänglich für Rollstuhlfahrer. Bei allen Sanierungsvarianten wurde davon ausgegangen, dass ein Lift eingebaut wird.

Für den Ist-Zustand wurden, soweit Zähler vorhanden, die Energieverbräuche gemessen und mit den Berechnungen verglichen. Bei einzelnen Schulhäusern gibt es Differenzen, im Durchschnitt über alle Schulbauten jedoch stimmen die berechneten und die gemessenen Werten gut überein. Die Datenerhebungen, Messresultate und Standardannahmen sind im Anhang (vgl. Kapitel 8.2 und 8.3) dokumentiert.

4.2.7 Primärenergie und Treibhausgasemissionen Mobilität

Berechnet wurde der Ressourcenaufwand gemäss den Grundlagen nach SIA Merkblatt 2039 *Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort* [5]. Die Mobilität wurde für alle Schulanlagen mit den effektiven Schülerzahlen und den Anzahl Lehrkräften berechnet und auf die effektiven Energiebezugsflächen bezogen. Wo Turnhallen vorhanden sind, wurde diesen zusätzlich ein Budget für ausserschulische Nutzungen zugerechnet.

Für den Ist-Zustand wurde gemäss SIA-Effizienzpfad Energie die heutige Personenwagenflotte eingesetzt, für die Sanierungsvarianten die erwartete Personenwagenflotte im Jahr 2050, die im Vergleich zur heutigen Personenwagenflotte einen rund dreimal geringeren Treibstoffverbrauch aufweist.

4.2.8 Annahmen für Szenarien

Die Szenarien und Hochrechnung beruhen auf Annahmen, die teilweise als eher vorsichtig, teilweise als ambitiös eingestuft werden können. Treten die ambitiösen Annahmen nicht ein, ist der Weg zu den 2000-Watt-Zielen gefährdet. Bei den vorsichtigen Annahmen hingegen liegt noch ein Potenzial zu einer weiteren Unterstützung der Zielerreichung.

Tabelle 3: Annahmen für die Hochrechnung, welche die Erreichung der 2000-Watt-Ziele für das Schulhausportfolio unterstützen resp. gefährden

| Ambitiöse Annahmen | Vorsichtige Annahmen |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Flächenverbrauch pro Schüler nimmt bis 2050 nicht zu. • Alle Schulhäuser des Portfolios werden bis 2050 einmal instand gesetzt (Finanzierung und Ressourcen, vgl. dazu Kapitel 5.3 "Kosten / Nutzen"). • Technisierungsgrad und Elektrizitätsverbrauch Endgeräte nehmen nicht zu bis 2050. • Alle Energieträger für Heizung werden ersetzt (Finanzierung). • Werte für elektrische Hilfsenergie, Beleuchtung, Betriebseinrichtung ambitiös – nur mit Einsatz bester Technologie zu erreichen. • Alle Neubauten erfüllen SIA-Effizienzpfad Energie • Mobilität: Wagenflotte 2050 emittiert rund dreimal weniger Treibhausgase als heutige. | <ul style="list-style-type: none"> • Der Stromliefermix erweitert Spielraum (vgl. Kapitel 6.4.9) • Hochrechnung beruht auf heute bekannter Technologie: Innovationen können den Weg beschleunigen (Effizienz, Optimierung Erstellung etc.). • Die prozentuale Verteilung von denkmalgeschützten und nicht inventarisierten Gebäuden ändert sich nicht. |
| <p>Auswirkung vom Einzelfall abhängig</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es werden 8% des (nicht inventarisierten) Gebäudebestandes durch Ersatzneubauten ersetzt. | |

5 Varianten

5.1 Wahl der Varianten

Für die ausgewählten Schulhäuser wurde als erstes der **Ist-Zustand** berechnet.

Als Diskussionsgrundlage wurden zwei Varianten ausgearbeitet:

Variante 1 ist der Versuch einer Sanierung mit möglichst geringen Eingriffen in denkmalpflege-relevant bedeuende und optisch in Erscheinung tretende Elemente.

Variante 2 steht für eine umfassendere energetische Sanierung der Gebäudehülle, bei der insbesondere auch die Fassaden gedämmt werden, je nach Schulhaus mit einer Aussenwärmedämmung, mit einer Innenwärmedämmung oder mit Dämmputz.

Die **Variante Konsens** ist eine in interdisziplinärer Zusammenarbeit erarbeitete Lösung, eine Mischform aus Variante 1 und 2.

5.2 Ist-Zustand

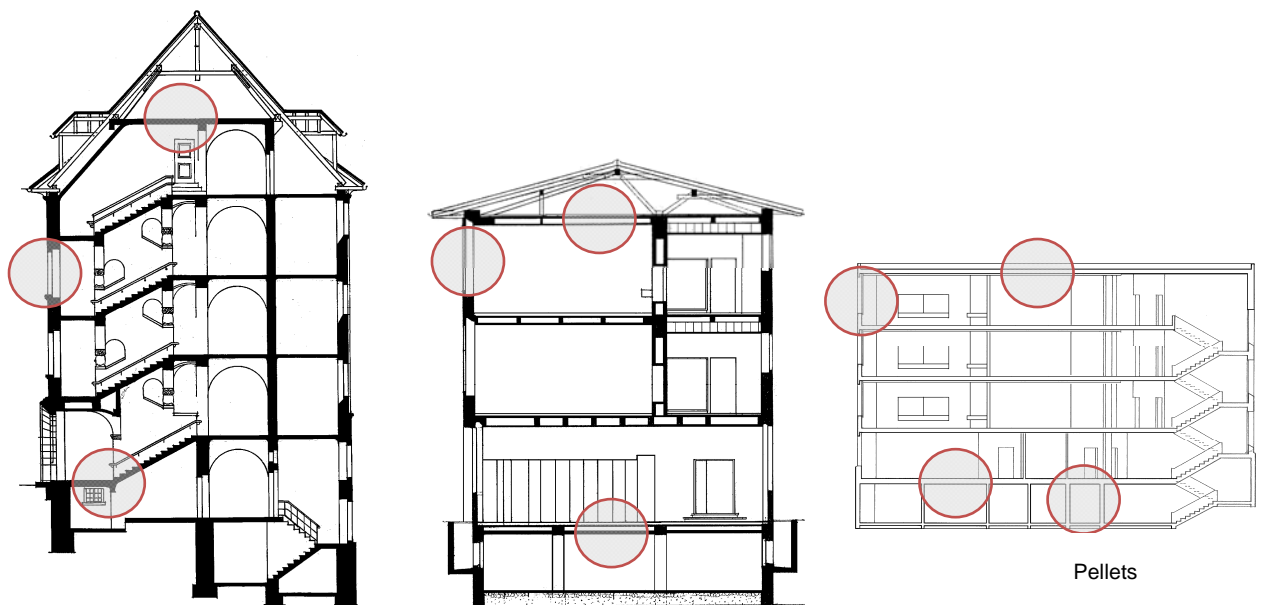
Keines der untersuchten Schulhäuser erfüllt die heute geltenden energetischen Vorschriften an die Gebäudehülle für eine Gesamtinstandsetzung.

Die Wärmeerzeugung basiert in allen untersuchten Schulbauten auf fossilen Energieträgern, sei es Heizöl oder Gas. Das Schulhaus Kornhaus bezieht Fernwärme aus einer Kehrlichtverbrennungsanlage.

5.3 Variante 1

- Fensterersatz mit 2-fach Wärmeschutzverglasungen
- Dämmung von Dächern
- Dämmung von Böden gegen unbeheizte Räume
- teilweise neue Wärmeerzeugung / Energieträger: Bei jenen Schulhäusern, die auch in Zukunft mit einem Hochtemperatur-Heizsystem ausgerüstet werden sollen (Pellets oder Biogas) ist schon bei dieser Sanierungsvariante der Wechsel auf einen neuen Energieträger möglich und sinnvoll. Bei jenen Bauten, welche in Zukunft mit einer Wärmepumpe ausgerüstet werden sollen, ist der Wechsel auf einen neuen Energieträger noch nicht sinnvoll: Wärmepumpen sind typische Niedertemperatur-Systeme, sie brauchen eine tiefe Vorlauftemperatur und eine grossflächige Wärmeabgabe (z.B. über eine Fussbodenheizung), um effizient arbeiten zu können. Bei diesen Schulanlagen bleibt deshalb die bestehende Wärmeerzeugungsanlage im Einsatz.

Figur 4: Schemaschnitte Schulhäuser Münchhalde, Kornhaus und Sihlweid, mit Massnahmen Variante 1

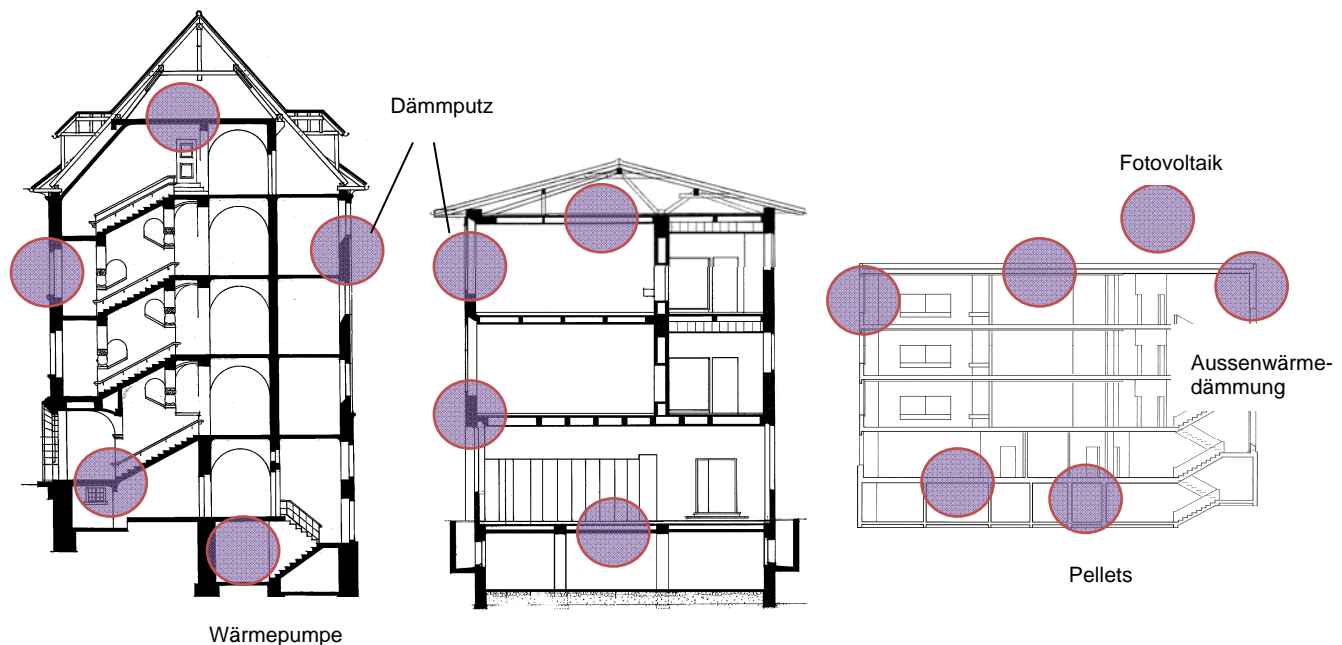


5.4 Variante 2

Umfassendere Sanierung der Gebäudehülle. Insbesondere

- Dämmung von Fassaden aussen oder innen
- Fensterersatz mit 3-fach Wärmeschutzverglasungen
- Dämmung von Dachflächen
- Dämmung von Böden gegen unbeheizt
- Wechsel Wärmeerzeugungsanlage: Bei dieser Variante kann der Heizwärmebedarf durch die umfassendere energetische Sanierung der Gebäudehülle im Durchschnitt um rund 80% gesenkt werden. Ein Wechsel auf eine Wärmeerzeugungsanlage, welche vorwiegend mit einem erneuerbaren Energieträger gespeist wird, ist in diesem Szenario sowohl technisch machbar als auch energetisch sinnvoll. In der Variante 2 sind deshalb bei allen Schulhäusern die bestehenden (auf fossilen Energieträgern basierenden) Heizsysteme durch eine neue Anlage ersetzt worden.
- Lüftung: In den ausgewählten Beispielen wird davon ausgegangen, dass der notwendige Luftaustausch über eine automatische Fensterlüftung gewährleistet wird. Beim Neubau wurde eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt.
- Solarstromanlage: Soweit geeignet gemäss Potentialabklärung.

Figur 5: Schemaschnitte Schulhäuser Münchhalde, Kornhaus und Sihlweid, mit Massnahmen Variante 2



5.5 Ergebnisse der Diskussion von Varianten 1 und 2

Die Varianten 1 und 2 wurden an einem Workshop, an dem das Amt für Städtebau, die Immobilien-Bewirtschaftung, das Schulamt und das Amt für Hochbauten vertreten waren, besprochen. In der Diskussion kristallisierten sich relativ schnell die relevanten Themen heraus, in welchen Interessenkonflikte auftreten. Gemeinsam konnte zu den wichtigsten Themen folgende Grundhaltung erarbeitet werden:

5.5.1 Dämmung Fassaden

Sieben der elf Schulhäuser sind im Inventar der Denkmalpflege erfasst. Es sind wertvolle Zeitzeugen und ihr architektonischer Ausdruck genießt eine besondere Wertschätzung. Insofern ist die energetisch sicher günstigste und einfachste Massnahme der Wärmedämmung, welche ausser auf die Fassade angebracht wird, nur in den wenigsten Fällen möglich. Diskutiert wurden folgende Möglichkeiten:

Keine Dämmung: Die Gebäudehülle wird durch den Fensterersatz deutlich dichter, der natürliche Luftwechsel (bei Schulbauten ein Thema) wird dadurch massiv reduziert. Wenn die Aussenwände nicht gedämmt werden, birgt dies ein erhöhtes Risiko für einen tieferen Komfort durch kalte Oberflächen und Oberflächenkondensat, welches Verfärbungen und Schimmelpilz auslösen kann. Dies ist wärmetechnisch die schlechteste Variante und ein regelmässiges Lüften durch die Nutzer umso zwingender.

Innenwärmedämmung: Bei einigen Projekten ist es möglich eine Innenwärmedämmung anzubringen. Sie bringt bereits bei 10cm eine deutliche Reduktion des Heizwärmebedarfes und einen besseren Komfort durch die warme Oberfläche. Sie hat jedoch den Nachteil, dass der sommerliche Wärmeschutz verschlechtert wird. Vor allem bei Holzbalkenköpfen und bei verstärkten Wärmebrücken ist das Risiko des Details sorgfältig mit einem Bauphysiker zu klären. Vorzugsweise wird mit einer diffusionsoffenen Konstruktion gearbeitet, um sich das Risiko der Verletzung der Dampfbremse nicht einzuhandeln. Die Innendämmung ist ein Kompromiss um die Materialität und die Proportionen der Fassade zu erhalten.

Wärmedämmputz: Aus denkmalpflegerischen Gründen ist ein Dämmputz dort möglich, wo bereits eine verputzte Fläche besteht. Der Ausdruck des Gebäudes kann erhalten werden. Die Dicke ist jeweils objektspezifisch zu definieren. Wichtig dabei ist, dass die historischen Oberflächenstrukturen und Farben erhalten bleiben. Der Wärmedämmputz kann in einer Stärke von 3-4 cm angewendet werden. Diese minimale Dämmung hat jedoch bereits eine beachtliche Wirkung (bis zu 20% Heizwärmebedarf eingespart!). Sie birgt keine bauphysikalischen Risiken und kann auch mit einer Innenwärmedämmung kombiniert werden. Oft reduziert der Dämmputz die Wärmebrücken der Innendämmung.

Aussenwärmedämmung: Die Aussenwärmedämmung ist nur bei zwei Gebäuden, welche nicht denkmalgeschützt sind, möglich. Sie ist jedoch die idealste Variante um den Heizwärmebedarf zu senken, ohne sich bauphysikalische Risiken einzuhandeln. Die inneren Oberflächentemperaturen erhöhen sich massiv und gewährleisten Komfort. Der Ausdruck des Gebäudes verändert sich stark, es stellt sich die Frage nach der Möglichkeit einer neuen Gestaltung.

5.5.2 Fensterersatz

Weniger umstritten war die Frage des Fensterersatzes. Fenster sind Bauteile mit einer beschränkten Nutzungsdauer. Dass bei einem bautechnisch notwendigen Ersatz bestehender Fenster energetisch bessere Fenster zum Einsatz kommen, wird allgemein begrüsst. Bei fast allen Schulbauten ist ein Ersatz mit Dreifach-Wärmeschutzverglasungen möglich. Eine Ausnah-

me bildet das Schulhaus Kornhaus, welches raffinierte Hebeschiebefenster im Originalzustand aufweist. Sie sind denkmalpflegerisch wertvoll und für den Gesamteindruck dieses inventarisierten Baus von grosser Bedeutung. Im Schulhaus Kornhaus soll deshalb auf den Ersatz mit Wärmeschutzverglasungen verzichtet werden und das Bild und die Funktionsweise der Originalfenster soweit möglich beibehalten werden. Besondere Sorgfalt ist auch bei Fenster mit Sprosseneinteilung angezeigt. Die Sprossenteilung soll in jedem Fall erhalten bleiben, trotzdem ist aber der Ersatz bestehender Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasungen denkbar. Lösungen, wie beispielsweise glastrennende Sprossen auf der äussersten Verglasung, wurden angedacht. Hier müssen gestalterisch und energetisch gute Lösungen weiter verfolgt werden.

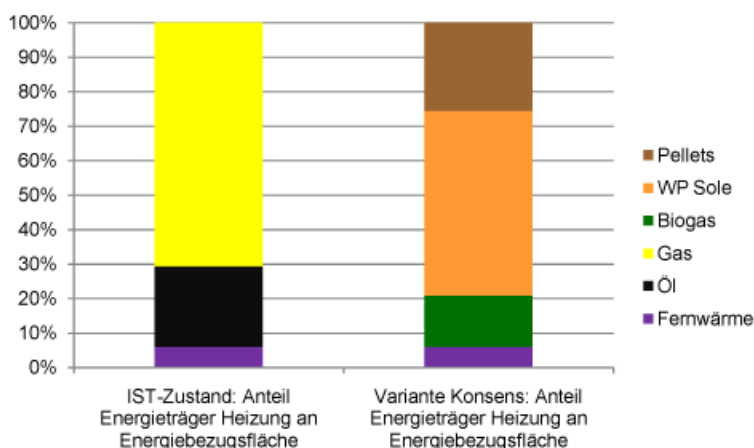
5.5.3 Solarstromanlagen

Die Installation von Solarstromanlagen auf den Dächern wurde grundsätzlich als Option begrüsst. Bei Flachdächern wird dies von allen Seiten als unproblematisch angesehen. Bei Steildächern, insbesondere von inventarisierten Gebäuden, wurde die Massnahme zumeist als nicht zweckmässig eingestuft: das Erscheinungsbild und die Silhouetten der Bauten würde dadurch zu stark verändert, zudem sind die nutzbaren Flächen oft beschränkt und lassen keine wirtschaftliche Nutzung von Solarenergie zu. Bei diesen Schulbauten ist aber oftmals eine Solaranlage auf Nebengebäuden, wie zum Beispiel Turnhallen, zu prüfen.

5.5.4 Energieträger

Als wirksame und absolut unproblematische Massnahme gilt der Ersatz der bestehenden Heizungsanlagen mit neuen Heizsystemen in allen Schulbauten. Die Öl- und Gasheizungen sollen durch eine Wärmeenergie erzeugt werden, welche auf erneuerbaren Energieträgern basiert. Diese technische Massnahme, welche den Ausdruck der Gebäude nicht beeinflusst, war im Workshop kein Thema. Sie soll umgesetzt werden. Da in der Lösungsvariante *Konsens* bei allen elf Schulbauten eine recht deutliche Reduktion des Heizwärmebedarfs durch eine energetische Sanierung der Gebäudehülle erzielt werden konnte, ist dank den tieferen Vorlauftemperaturen der Einsatz von effizienten Wärmepumpen bei den dafür vorgesehenen Bauten realisierbar. Idealerweise würde die Wärmeabgabe durch eine Flächenheizung (Wand, Decke oder Boden) erfolgen, dies war jedoch nicht Thema der Workshops (vgl. hierzu auch Kapitel 6.4.4 *Dämmung der Gebäudehülle versus Energieträger-Wechsel*).

Figur 6: Anteil an der Energiebezugsfläche für die Energieträger Heizung

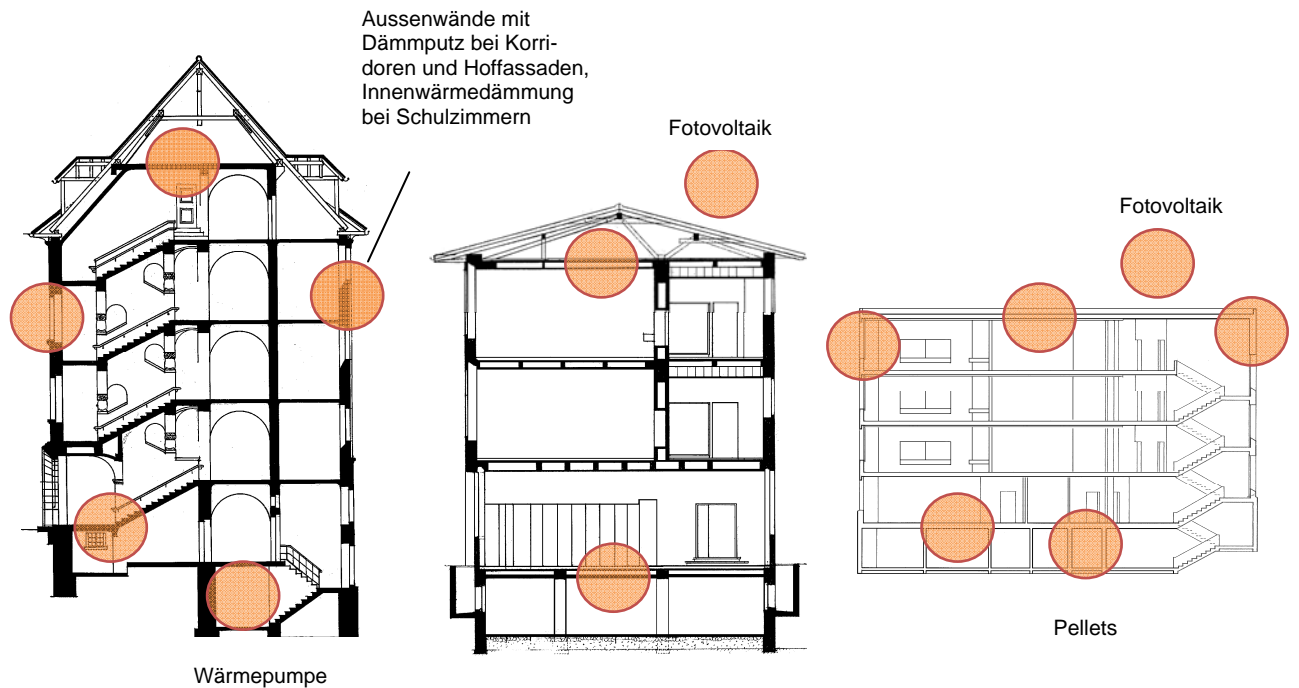


Die Variante 2 und Variante Konsens bedeuten einen vollständigen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energien für Raumheizung und Warmwasser.

5.6 Variante *Konsens* ■

Die *Konsens*-Lösung ist die Essenz aus intensiven Diskussionen. Das Projektteam konnte gemeinsam für jedes der elf untersuchten Schulhäuser einen Massnahmenkatalog erarbeiten, der von allen Beteiligten mitgetragen wird. Sie zeigt die Variante, die nach heutigem Wissensstand als nachhaltigster Weg erachtet wird.

Figur 7: Schemaschnitte Schulhäuser Münchhalde, Kornhaus und Sihlweid, mit Massnahmen Variante *Konsens*



Kennwerte und Massnahmen Variante *Konsens*

Die Kennwerte und Massnahmen zu den untersuchten Schulbauten sind in Tabelle 5 in der Übersicht zusammengestellt. Die vollständigen Angaben zu allen Varianten und Schulhäusern sind im Anhang (vgl. Kapitel 8) aufgeführt.

Tabelle 5: Kennwerte und Massnahmen zu den elf untersuchten Schulbauten:

| Schulhaus | A_E | A_{th} / A_E | Energieträger Heizung Bestand | Energieträger Heizung neu | Bemerkungen zur Konsenslösung |
|--------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------|--|
| Asper (inventarisiert) | 5'240 m ² | 0.92 | Gas | Biogas | IWD im Bereich Heizkörpernischen und Schulzimmer, Fenster 3-fach IV. Keine Solarstromanlage. |
| Borrweg | 1'615 m ² | 1.28 | Gas | WP Sole | Verputzte Aussenwärmedämmung. Fenster 3-fach IV. Solarstromanlage auf Flachdach. |
| Hofacker (inventarisiert) | 4'070 m ² | 1.01 | Gas | WP Sole | Dämmputz, wo bestehend. Innenwärmedämmung bei Heizkörpernischen, Schulzimmern und teils im Korridor. Fenster 3-fach IV. Solarstromanlage teilweise, auf Herterbau. |
| Kern (inventarisiert) | 5'226 m ² | 0.86 | Gas | Pellets | Innenwärmedämmung bei Heizkörpernischen, Schulzimmern und teils im Korridor. Fenster 3-fach IV, ausser im Treppenhaus. Solarstromanlage evtl. auf Nebengebäude. |
| Kornhaus (inventarisiert) | 2'097 m ² | 1.49 | Fernwärme | Fernwärme | Keine Dämmung der Aussenwand. Fenster-Ersatz nur teilweise, nicht mit Isolierverglasungen. Solarstromanlage evtl. auf Nebengebäude. |
| Lavater (inventarisiert) | 3'583 m ² | 0.89 | Gas | WP Sole | Verputzte Fassaden neu mit Dämmputz, andere Fassaden mit Innenwärmedämmung. Bei Sandsteinpfeilern keine Dämmung. Fenster neu mit 3-IV. Keine Solarstromanlage. |
| Leimbach | 1'040 m ² | 1.38 | Gas | Pellets | Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung. Fenster neu mit 3-IV Solarstromanlage auf Dächern. |
| Loogarten (inventarisiert) | 1'310 m ² | 1.30 | Gas | WP Sole | Aussenwände ungedämmt (Kunst am Bau). Fenster neu mit 3-IV Solarstromanlage auf Flachdach. |
| Münchhalde (inventarisiert) | 6'188 m ² | 0.84 | Öl | WP Sole | Aussenwände mit Dämmputz bei Korridoren und auf Hoffassaden, Innenwärmedämmung bei Schulzimmern. Fenster neu mit 3-IV Keine Solarstromanlage. |
| Schauenberg | 2'001 m ² | 1.58 | Öl | WP Sole | Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung. Fenster neu mit 3-IV Solarstromanlage auf Flachdach. |
| Sihlweid | 2'656 m ² | 1.30 | Gas | Pellets | Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung. Fenster neu mit 3-IV. Solarstromanlage auf Flachdach. |

Abkürzungen: A_E : Energiebezugsfläche, A_{th} : Thermische Gebäudehüllfläche

6 Resultate, Einflussgrössen und Sensitivitäten

6.1 Hochrechnungen auf ganzes Portfolio

Berechnung durch Architekturbüro H.R. Preisig

Die Untersuchungen an elf Schulbauten der Stadt Zürich stehen stellvertretend für den grössten Teil des Schulhausparks: Altbauten in der Art der untersuchten Schulgebäude machen heute rund 85% des gesamten Bestandes aus. Die restlichen Schulgebäude sind seit den 80er Jahren entstanden. Sie weisen, energetisch gesehen, bereits eine deutlich bessere Bilanz auf. Der Ist-Zustand des gesamten Schulhausparks ergibt sich durch eine Hochrechnung in flächengewichteten, prozentualen Anteilen aus diesen Altbauten und Bauten aus den Jahren 1980 bis 2010. Der Ist-Zustand ist in der nebenstehenden Darstellung jeweils in der ersten Säule dargestellt.

In den Varianten wurde für die Hochrechnung davon ausgegangen, dass rund 55% der Schulbauten im Jahr 2050 denkmalgeschützte Objekte sein werden und rund 22% andere Altbauten, welche keinen Schutzzumfang geniessen. 15% der Schulbauten im Jahr 2050 wurden in den Jahren 1980 bis 2010 gebaut. Bis ins Jahr 2050 wird zudem davon ausgegangen, dass 8% Neubauten das Schulhausportfolio ergänzen, welche in den Jahren ab 2011 erstellt werden.

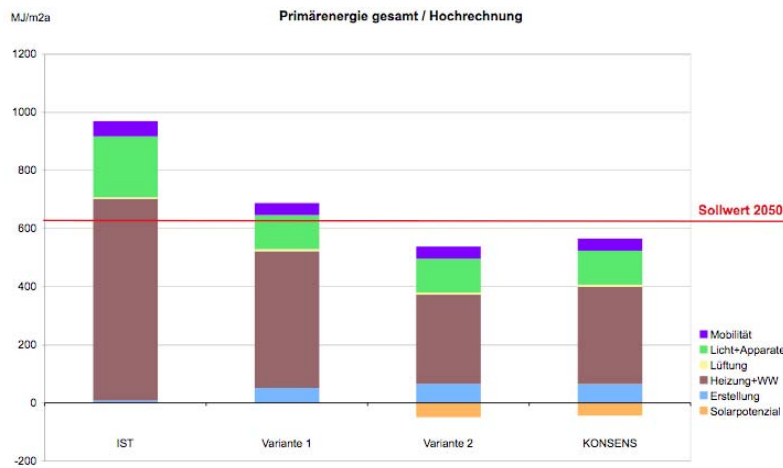
Schulhauspark auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft

Das Schulhausportfolio der Stadt Zürich kann das Etappenziel 2050 der 2000-Watt-Gesellschaft nach SIA-Effizienzpfad Energie [1] erreichen. Erwartungsgemäss liegt die grösste Herausforderung bei der Reduktion der Treibhausgasemissionen. Doch auch hier werden die Zielwerte erreicht.

Zur Erreichung der Ziele gemäss Effizienzpfad Energie bleibt ein gewisser Entscheidungsfreiraum erhalten. Die gelb dargestellten negativen Säulen stellen das zusätzlich mögliche Einsparpotenzial durch Nutzung von Solarenergie dar: Solarstromanlagen auf den Dächern der Schulbauten produzieren Strom aus erneuerbarer Energie und helfen die Bilanz weiter zu verbessern.

Interessant ist hier, dass die Einsparungen insbesondere bei der nicht erneuerbaren Primärenergie recht hoch sind. Bei der Primärenergie gesamt dagegen verringert sich das Einsparpotenzial, weil die Sonnenenergie als erneuerbare Energiequelle eingerechnet werden muss. Die Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen dank Solarenergie sind relativ gering: Die Treibhausgasemissionen für die Produktion der Solarzellen sind recht hoch und vermindern die Einsparungen im Betrieb.

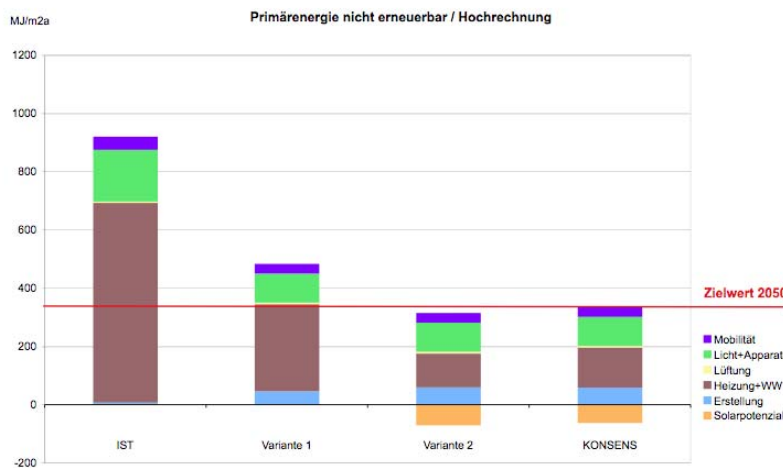
Figur 8: Hochrechnungen für den gesamten Schulhauspark der Stadt Zürich im Ist-Zustand und in Varianten für das Jahr 2050.



Primärenergie gesamt

Während bei Variante 1 der Sollwert noch knapp verfehlt wird, ist mit den Varianten 2 und Konsens der Sollwert zu erreichen.

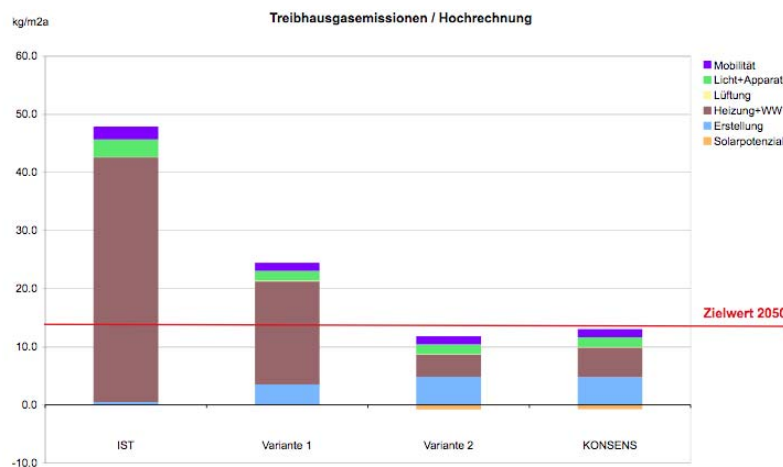
In der Variante Konsens wird der Sollwert um rund 10% unterschritten. Werden die Einsparungen durch Nutzung des Solarpotenzials eingerechnet, so kann der Sollwert sogar um rund 17% unterschritten werden.



Primärenergie nicht erneuerbar

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Primärenergie nicht erneuerbar: Auch hier kann mit den Varianten 2 und Konsens der Zielwert unterboten werden, wenn auch nur sehr knapp.

In der Variante Konsens wird der Zielwert um rund 2% unterschritten. Werden die Einsparungen durch Nutzung des Solarpotenzials eingerechnet, so kann der Zielwert mit komfortablen 20% unterschritten werden.



Treibhausgasemissionen

Auch bei den Treibhausgasemissionen kann mit den Varianten 2 und Konsens der Zielwert unterboten respektive knapp erreicht werden.

In der Variante Konsens wird der Zielwert um rund 7% unterschritten. Werden die Einsparungen durch Nutzung des Solarpotenzials eingerechnet, so kann der Zielwert mit 12% unterschritten werden.

6.2 Die ausgewählten Schulhäuser im Vergleich

Die elf untersuchten Schulhäuser bilden die wichtigste Basis für die Hochrechnungen im vorigen Kapitel. Altbauten in der Art der untersuchten Schulhäuser stellen heute, wie auch im Jahr 2050, den weitaus grössten Teil des Schulhausportfolios der Stadt Zürich.

Um den ganzen Schulhauspark abbilden zu können, wurden die untersuchten Altbauten durch einen Bau aus den 80er Jahren ergänzt. Aufgrund der zu dieser Zeit bereits deutlich strengeren gesetzlichen Vorgaben betreffend Wärmedämmstandard, darf davon ausgegangen werden, dass ein Bau aus der Zeit von 1980 bis 2010 in etwa einem nach Variante 2 sanierten Altbau entspricht. Die Graue Energie und die Grauen Treibhausgasemissionen sind im Ist-Zustand noch nicht amortisiert, werden aber bis ins Jahr 2050 amortisiert sein. Es wird davon ausgegangen, dass auch diese Bauten bis ins Jahr 2050 noch einmal saniert werden und die Wärmeversorgung bis dahin auf einem erneuerbaren Energieträger basieren.

Neubauten und Ersatzneubauten machen dagegen im Schulhausportfolio der Stadt Zürich anteilmässig nur einen kleinen Prozentsatz aus. Wenn die Neubautätigkeit in etwa in gleichem Umfang weiter gehen wird wie in den letzten Jahren, so dürfte bis ins Jahr 2050 rund 8% der Schulbauten in der Stadt Zürich Neubauten sein, welche ab dem Jahr 2011 erstellt wurden. Die Neubauten erfüllen in der Hochrechnung von Anfang an die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft.

Alle Schulhäuser im Vergleich – IST-Zustand

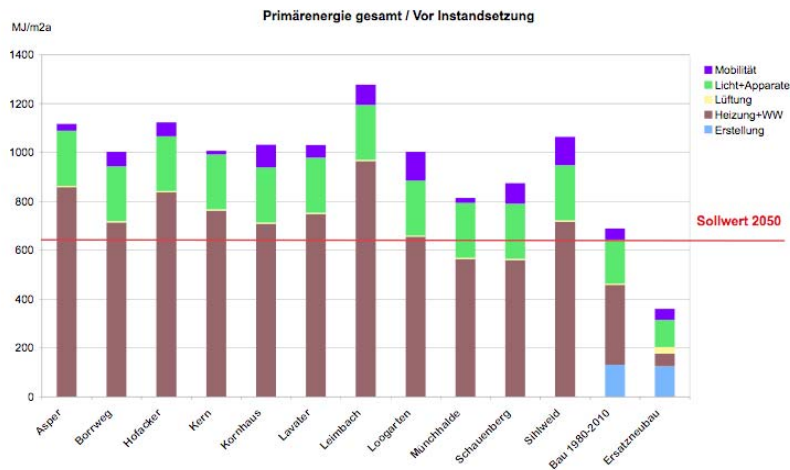
Der Vergleich des Ist-Zustands aller elf untersuchten Schulhäuser zeigt vor allem eines: Die Schulbauten sind heute bei einem durchschnittlichen jährlichen Heizenergiebedarf von rund 530 MJ/m² weit entfernt von den heutigen energetischen Anforderungen. Keines der Schulhäuser würde den heutigen Grenzwert erfüllen. Die Aussenwände, Dächer und Decken gegen unbeheizte Räume sind zumeist ungedämmt, bei den Fenstern handelt es sich zum grossen Teil um Doppelverglasungen oder gar Einfachverglasungen.

Insbesondere im Bereich der Treibhausgasemissionen bildet sich die einseitige Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zur Deckung des grossen Wärmebedarfs ab. Im Durchschnitt entfallen 90% der gesamten Treibhausgasemissionen auf die Bereitstellung der nötigen Raumwärme.

Da die Bauten alle über 30jährig sind, ist dagegen die Erstellungsenergie bei allen Bauten bereits amortisiert.

Die Mobilitätsenergie fällt bei den untersuchten Bauten überraschend wenig ins Gewicht. Hier zeigt sich der grosse Standortvorteil der städtischen Schulhausbauten, welche in relativ nahen Distanzen im dicht besiedelten Gebiet beste Voraussetzungen erfüllen, um den Energiebedarf für die Mobilität klein zu halten. Die relativ kurzen Wege der Lehrkräfte und Schüler werden zum grossen Teil zu Fuss, mit dem Fahrrad und mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt. Im Gegensatz würde beispielweise eine Kantonsschule, die zentralisiert organisiert ist, bezüglich induzierter Mobilität deutlich schlechter abschneiden.

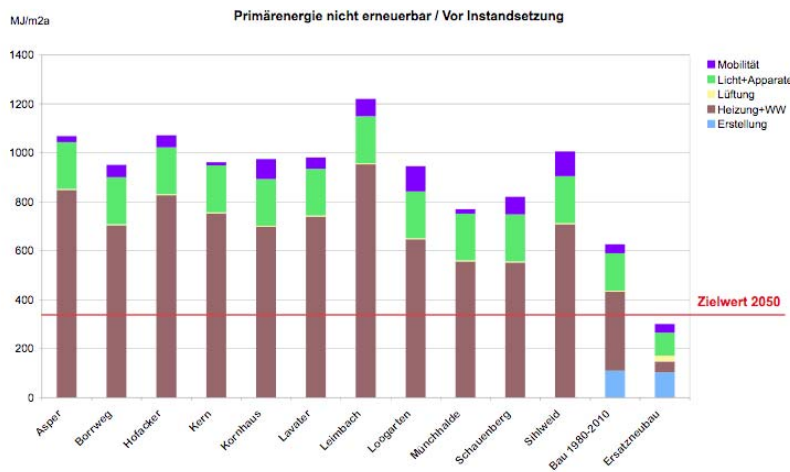
Figur 9: Die elf Schulhäuser im Vergleich: Ist-Zustand.



Primärenergie gesamt

Auffallend ist der absolut massgebende Anteil Heizung und Warmwasser: energetisch ungenügende Gebäudehüllen und fossilen Energieträger Öl oder Gas führen zu dieser Dominanz. Die Erstellungskostenenergie ist im Ist-Zustand bereits amortisiert, ausser bei den 80er Jahr-Bauten und beim Neubau.

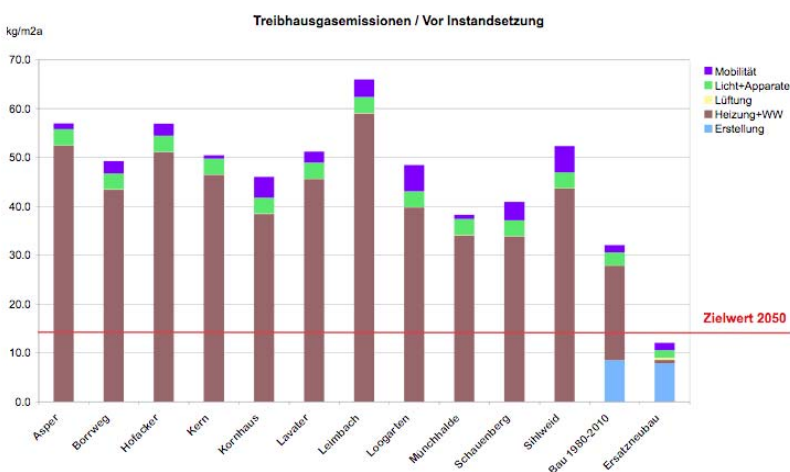
Im Durchschnitt liegen die elf Altbauten rund 65% über dem Sollwert.



Primärenergie nicht erneuerbar

Auch bei der nicht erneuerbaren Primärenergie ist der Anteil Heizung und Warmwasser massgebend.

Im Durchschnitt liegen die elf Altbauten rund 190% über dem Zielwert, das heisst hier ist zur Zielerreichung eine Reduktion um Faktor 3 angezeigt.



Treibhausgasemissionen

Noch deutlicher sind die Ergebnisse bei den Treibhausgasemissionen: der Anteil Heizung und Warmwasser dominiert die Gesamtbilanz, da Öl und Gas als fossile Energieträger für grosse Emissionen sorgen und der Bedarf aufgrund der energetisch ungenügenden Gebäudehülle sehr hoch ist.

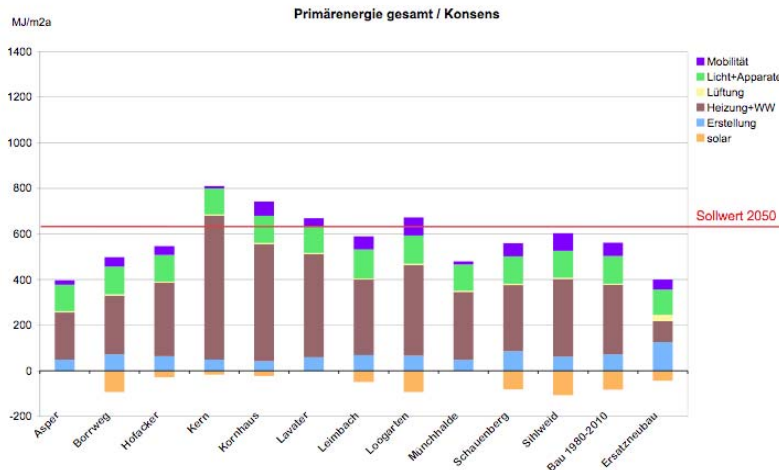
Im Durchschnitt liegen die elf Altbauten rund 260% über dem Zielwert, das heisst hier ist zur Zielerreichung eine Reduktion um Faktor 3.6 angezeigt.

Alle Schulhäuser im Vergleich – Variante Konsens

Dem Ist-Zustand wurden zwei Sanierungsvarianten als Diskussionsgrundlage gegenübergestellt (Varianten 1 und 2 vgl. Kapitel 6). Die Resultate der unterschiedlichen Variantenrechnungen und die zugehörigen Massnahmen wurden an einem Workshop mit Vertretern und Vertreterinnen aus dem Amt für Hochbauten, dem Amt für Städtebau, dem Schulamt und der Immobilien-Bewirtschaftung diskutiert. Gemeinsam konnte für jedes der elf untersuchten Schulhäuser ein Massnahmenkatalog erarbeitet werden, der von den Beteiligten mitgetragen wird.

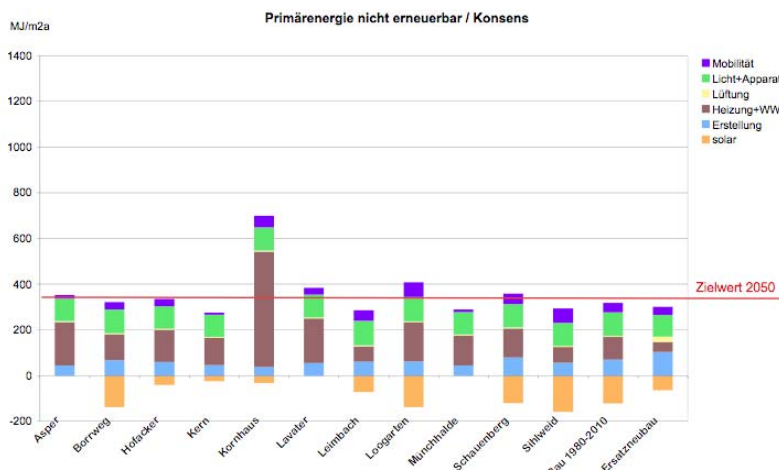
Die Konsenslösung zeigt: Der Heizwärmebedarf der untersuchten Schulhausbauten kann durch differenzierte Massnahmen deutlich gesenkt werden. Auch bei den denkmalpflegerisch als wertvoll eingestuften Bauten sind Massnahmen zur Senkung des Heizwärmebedarfs möglich. Im Blick über alle Schulhäuser beansprucht die Wärme für Heizung und Warmwasser in der Konsenslösung nur noch rund die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs und bei den Treibhausgasemissionen kann eine Reduktion um den Faktor 4 bis 8 realisiert werden.

Figur 10: Die 11 Schulhäuser im Vergleich: Variante Konsens



Primärenergie gesamt

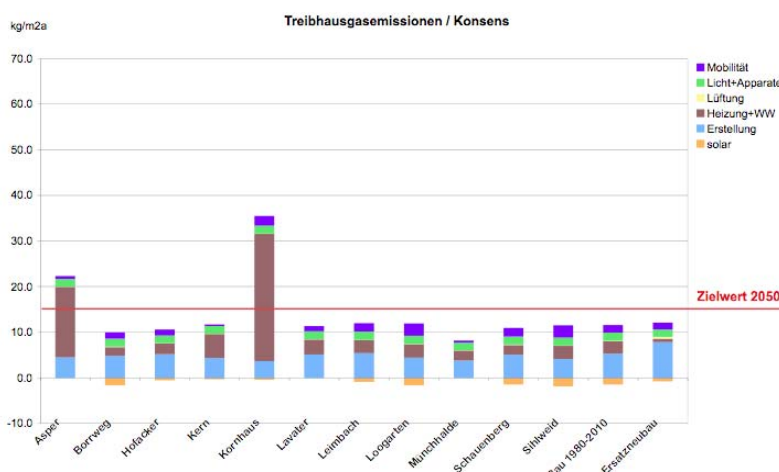
Bei der gesamten Primärenergie ist noch immer der Anteil Heizung und Warmwasser dominant, da die eingesetzten neuen Energieträger zum grössten Teil auf erneuerbaren Energien basieren. Die Erstellungenergie für die zur Sanierung zugeführten Baustoffe bleibt relativ klein.



Primärenergie nicht erneuerbar

Bei der nicht erneuerbaren Primärenergie ist der Anteil für die Wärmeerzeugung in vergleichbarer Grösse wie die elektrische Betriebsenergie. Die Erstellungenergie für die zur Sanierung zugeführten Baustoffe bleibt relativ klein und entspricht rund 20% des gesamten Verbrauchs.

Beim SH Kornhaus erklärt sich der hohe Wert durch die Fernwärme und die thermisch kaum verbesserte Gebäudehülle.



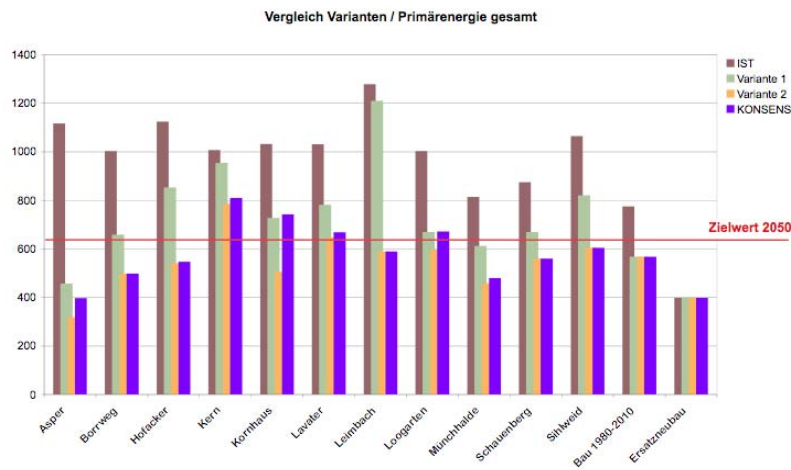
Treibhausgasemissionen

Bei den Treibhausgasemissionen sind die Reduktionen erwartungsgemäss am Grössten. Die Erstellungenergie und die Betriebsenergie pendeln sich in einer vergleichbaren Grössenordnung ein. Das mit Fernwärme aus einer Kehrichtverbrennungsanlage versorgte Schulhaus Kornhaus belastet die Gesamtbilanz stark.

Im Durchschnitt erreichen die elf Altbauten den Zielwert punktgenau. Werden die Einsparungen durch Nutzung des Solarpotenzials eingerechnet, so wird der Zielwert um 4% unterschritten.

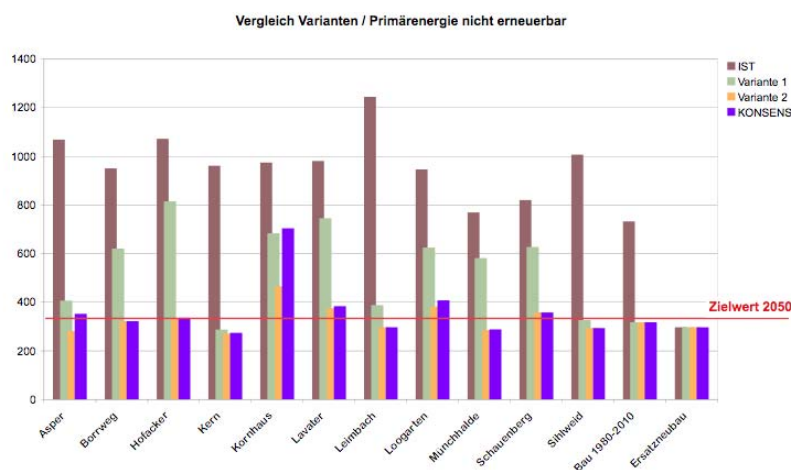
Interessant ist, dass sich die Ergebnisse der erarbeiteten Konsenslösung doch nahe an den Sanierungsvarianten 2 orientieren. Die folgende Darstellung zeigt, wie sich die Konsenslösung im Vergleich zum Ist-Zustand und den Varianten 1 und 2 platziert.

Figur 11: Vergleich Ist-Zustand, Varianten 1 und 2 und Konsens:



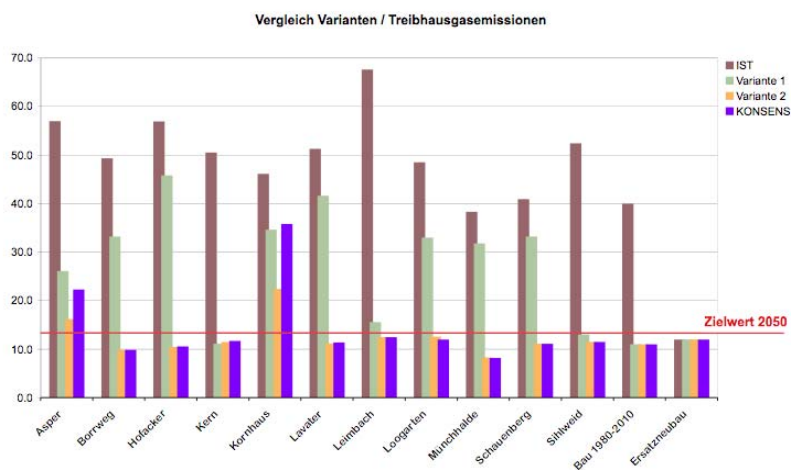
Primärenergie gesamt

Die grösste Differenz zwischen Variante 2 und Konsens zeigt sich beim Schulhaus Kornhaus. Aus denkmalpflegerischen Gründen soll hier auf den Ersatz der Fenster verzichtet werden.



Primärenergie nicht erneuerbar

Die grösste Differenz zwischen Variante 2 und Konsens zeigt sich aus denselben Gründen beim Schulhaus Kornhaus. Interessant ist, dass der Verzicht einer Fassadendämmung beim Schulhaus Loogarten nicht zu einer massiv schlechteren Bilanz führt.



Treibhausgasemissionen

Auch bei den Treibhausgasemissionen ist die Differenz zwischen Variante 2 und Konsens beim Schulhaus Kornhaus augenfällig.

Der Verzicht auf eine Fassadendämmung beim Schulhaus Loogarten verbessert die Gesamtbilanz sogar marginal.

Beim Schulhaus Asper ist dagegen genau das Gegenteil festzustellen: der Verzicht auf einen Teil der Fassadendämmung verschlechtert die Bilanz deutlich.

6.3 Kosten und Nutzwert

Erhebung durch die Immobilien-Bewirtschaftung

Die steigenden Anforderungen und Auflagen bei Instandsetzungen führen zu immer höheren Kostenkennwerten. Dies ist auf diverse Bereiche (Hindernisfreies Bauen, Erhöhung energetische Anforderungen, Feuerpolizei, Raum- und Qualitätsstandards etc.) zurückzuführen.

Um die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen muss ein Instandsetzungszyklus eingehalten werden können, d.h. es müssen alle Schulhäuser bis zum Jahr 2050 mindestens einmal instandgesetzt werden können.

Dies führt dazu, dass gemäss neuesten Hochrechnungen die Instandsetzungen im nötigen Zeitraum nicht finanzierbar sind, solange der Plafonds für Investitionen für das Portfolio der Schulbauten nicht erhöht wird. Mit einem Erneuerungszyklus von 40 Jahren (2010 bis 2050) wie in dieser Hochrechnung angenommen (bei der strategischen Planung wird grundsätzlich mit einem Erneuerungszyklus von sogar nur 30 Jahren gerechnet), besteht nach einer groben Kostenrechnung mit derzeitigen Kostenkennwerten ein Investitionsbedarf von rund CHF 72 Mio, bei einem Plafond von momentan CHF 60 Mio. Das hiesse, dass ein Sechstel der nötigen Instandsetzungen aufgrund der fehlenden Gelder nicht realisiert werden könnte.

Folgende Lösungen können in Betracht gezogen werden:

- Erhöhung des Investitionsplafonds für Projekte des Substanzerhaltes im Schulbauportfolio
- Reduktion der Baukosten (spezifisch)
- Reduktion des Flächenbedarfs

6.4 Einflussgrössen und Sensitivitäten

Die Ergebnisse wurden auf mögliche Sensitivitäten untersucht, welche die Zielerreichung unterstützen beziehungsweise auch gefährden können. Die wichtigsten Einflussgrössen sind unmittelbar von gesellschaftlichen, wirtschaftlichen oder politischen Entwicklungen abhängig: Ein optimierter Energieverbrauch, als vielleicht wichtigste Grösse im Bereich der nachhaltigen Entwicklung, lässt sich nicht isoliert betrachten im Dreiklang von Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Es ist deshalb unumgänglich, die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Teilprojekt *Szenarien* durch die Ergebnisse aus dem Teilprojekt *Beitrag der Schulen* zu unterstützen.

6.4.1 Wachsender Flächenverbrauch pro Kopf

Ein ganz wesentlicher Einflussfaktor für die Zielerreichung ist der Flächenverbrauch pro Schüler und Schülerin bzw. Lehrperson. In allen durchgeführten Hochrechnungen wird davon ausgegangen, dass dieser im Vergleich zu heute nicht weiter anwächst. Diese Annahme steht im Widerspruch zur Entwicklung bis heute (Anstieg des Flächenverbrauches seit 1960 um ca. Faktor 3) und den Bedürfnissen der Schule. Vor allem die Verkleinerung der Klassen, aber auch ihre zunehmende Heterogenität, der Ausbau der Betreuung, die Zuweisung zusätzlicher Aufgaben (Medienunterricht, Suchtprävention usw.) an die Schulen, sowie neue Lehr- und Lernformen haben in der letzten Jahrzehnten zu einem stetig steigenden Flächenbedarf geführt. Diese Entwicklung ist hoch sensitiv und verhält sich direkt proportional zum Energieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen.

Der Flächenkonsum in den Schulhäusern der Stadt Zürich entspricht heute den gesamtschweizerischen Durchschnittswerten (vgl. auch Anhang 8.4). Die Entwicklungen in diesem Bereich sind genau zu beobachten. Gleichzeitig ergibt sich in der Volksschule auch die Möglichkeit durch Sensibilisierung und Thematisierung im Unterricht zur Erreichung der Ziele der 2000-Watt-

Gesellschaft beizutragen. Mit dieser Thematik beschäftigt sich das Schulamt im Teilprojekt "Beitrag Schulen" (Abschluss Ende 2011).

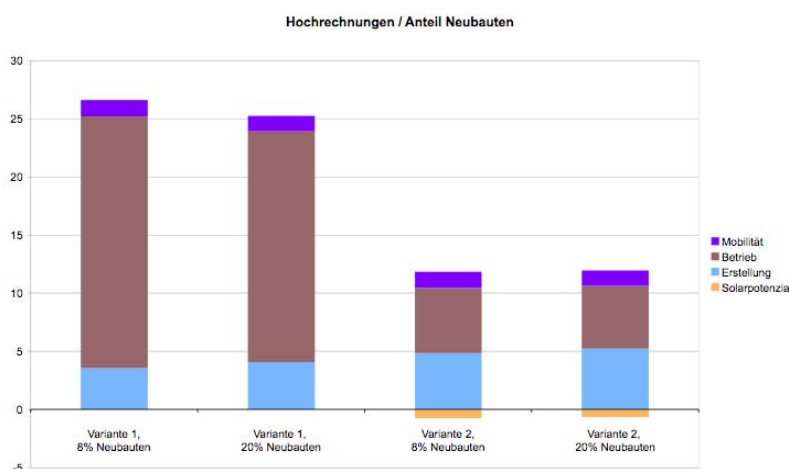
6.4.2 Komfort / Nutzerverhalten

Während bei den heute noch bestehenden Schulbauten nur die Klassenzimmer geheizt werden und die Korridore auf rund 17°C temperiert sind, besteht heute vermehrt der Wunsch nach einer ausgeglichenen Temperatur im ganzen Gebäude, so dass auch ausserhalb der eigentlichen Klassenzimmer unterrichtet und gearbeitet werden kann. Deshalb muss auch die Beleuchtungsstärke ausserhalb der Unterrichtsräume erhöht werden, was zu einem zusätzlichen Stromverbrauch führt. In der Ausstattung der Schulzimmer hat sich in den letzten Jahren viel getan: Primarschulen sind heute mit Computern ausgestattet, Beamer für Präsentationen, elektronische Wandtafeln etc. erleichtern den Unterricht, lassen aber im Gegenzug den Stromverbrauch ansteigen. Das Nutzerverhalten hat hier ebenfalls einen entscheidenden Einfluss: Wenn Computer ausserhalb der Benutzungszeit nicht abgestellt werden, während der Heizperiode Fenster über längere Zeit offen stehen und Licht auch in unbenutzten Räumen brennt, kann dies den Bedarf an Betriebsenergie ohne Weiteres verdoppeln. Beim Nutzerverhalten liegt die Chance in der Erziehung und Aufklärung – es handelt sich also um einen pädagogischen Auftrag. Das Thema soll im Teilprojekt 2 *Flächenoptimierung, Nutzerverhalten, Multiplikation und Mobilität* des Schulamtes angesprochen werden.

6.4.3 Anteil Neubauten

Im Vorfeld zu den durchgeführten Untersuchungen wurde die Hypothese formuliert, dass der Schulhauspark der Stadt Zürich nicht auf den Weg der 2000-Watt-Gesellschaft zu bringen sei, ohne einen grossen Teil der Altbauten durch effiziente Neubauten zu ersetzen. Diese Annahme hat sich nicht bestätigt. Ersatzneubauten benötigen eine sehr grosse Anfangsinvestition an Grauer Energie für die Erstellung – insbesondere für die Produktion der dazu benötigten Baustoffe. Es hat sich gezeigt, dass Gesamtinstandsetzungen in einer umfassenden energetischen Betrachtungsweise besser oder zumindest gleich gut abschneiden als Neubauten. Eine Erhöhung der Ersatzneubaurate ist deshalb aus energetischer Sicht nicht angezeigt.

Abbildung 12: Hochrechnung der Treibhausgasemissionen für einen höheren Anteil an Neubauten



Wenn bei der Hochrechnung über den ganzen Schulhauspark der Anteil Neubauten von 8% auf 20% erhöht wird, verbessert sich die Gesamtbilanz, falls die Altbauten energetisch nur minimal saniert werden (Variante 1). Werden die Altbauten aber umfassender saniert (Variante 2), verschlechtert sich die Gesamtbilanz sogar geringfügig: Ein grösserer Anteil Neubauten wirkt sich dann negativ auf die Gesamtbilanz aus.

Diese Feststellung gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Altbauten energetisch instandgesetzt werden. Für den Entscheid zwischen Ersatzneubau und energetisch weitgehender Sanierung spielen damit energetische Fragen eine marginale Rolle. Selbstverständlich sind

im Einzelfall Ersatzneubauten zu prüfen, der Entscheid ist allerdings von der umfassenden Nachhaltigkeit (z.B. inkl. Nutzwert) des Gebäudes abhängig. Der Ersatzneubau ist energetisch nur interessant, wenn eine deutlich höhere Ausnützung und eine kompaktere Gebäudeform erreicht werden. Insgesamt lässt sich festhalten, dass der Anteil Ersatzneubauten nicht als wichtige Stellschraube zur Erreichung der 2000-Watt-Ziele bezeichnet werden kann.

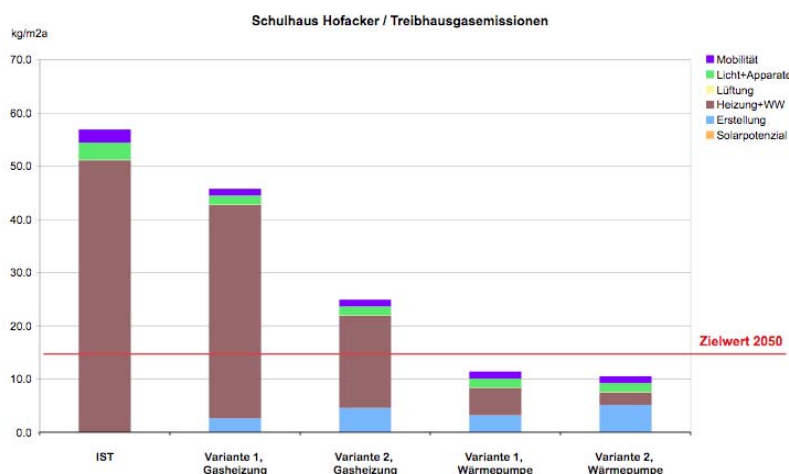
6.4.4 Dämmung der Gebäudehülle versus Energieträger-Wechsel

Aus architektonischer und denkmalpflegerischer Sicht, ist der Ersatz einer Wärmeerzeugungsanlage problemlos, während eine Dämmung der Gebäudehülle immer einen Eingriff in die Originalsubstanz und eine Veränderung des architektonischen Ausdrucks mit sich bringt. Es stellt sich deshalb die Frage, ob nicht der konsequente Ersatz von Heizungsanlagen ausreicht und eine Dämmung der Gebäudehülle gar nicht nötig ist.

Tatsächlich bringt der Wechsel von fossilen Energieträgern zu erneuerbaren Energieträgern sehr viel, insbesondere im Bereich der Treibhausgasemissionen. Als mögliche Wärmeerzeuger stehen dabei Wärmepumpen im Vordergrund, welche die Erdwärme nutzen. Diese Systeme arbeiten nach heutigem Stand der Technik aber nur dann effizient, wenn die Temperaturdifferenz zwischen der genutzten Umgebungswärme und der benötigte Abgabewärme möglichst klein ist. Das heisst, dass die Wärmeabgabe nach heutigem Stand der Technik im Bereich von rund 30°C erfolgen sollte. Einen ungedämmten Altbau mit einer solchen Vorlauftemperatur auf der notwendigen Raumtemperatur halten zu können, ist unmöglich, selbst wenn grossflächige Wärmeabgabesysteme, wie beispielsweise Fussbodenheizungen, eingebaut werden könnten.

Die bewährte Regel, dass immer zuerst der Bedarf gesenkt und erst anschliessend der Restbedarf sinnvoll gedeckt werden soll, bleibt nach wie vor der richtige Weg. Eine Dämmung der Gebäudehülle (in welchem Ausmass ist objektspezifisch zu klären) ist deshalb zwingend mit einem Energieträger-Wechsel verbunden.

Figur 13: Vergleich des Einflusses der Gebäudehüllensanierung im Vergleich zu Energieträgerwechsel am Beispiel des Schulhauses Hofacker



Die Treibhausgasemissionen reduzieren sich bei einer Gebäudehüllensanierung gemäss Variante 1 um rund 20%, bei einer umfassenderen Sanierung gemäss Variante 2 sogar um 55%. Das Treibhausgasreduktionspotenzial durch Wechsel von Gas auf eine Erdsonden-Wärmepumpe ist theoretisch weit grösser. Die Kombination einer schlecht gedämmten Gebäudehülle mit einer Wärmepumpe ist allerdings technisch fragwürdig.

6.4.5 Lüftung

In der Hochrechnung wurden alle Varianten mit einfachen Abluftanlagen gerechnet. Die Untersuchung hat gezeigt, dass der Einbau einer effizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bei diversen Schulanlagen schwierig bis gar nicht realisierbar ist. Aus diesem Grund wurde bei den ausgewählten Beispielen davon ausgegangen, dass der notwendige Luftaustausch über eine

automatische Fensterlüftung gewährleistet wird. Beim Neubau wurde eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt.

Ursprünglich wurde jeweils eine weitere Variante gerechnet, welche den Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung einschliesst. Dadurch lassen sich Lüftungswärmeverluste einsparen und damit der Heizwärmebedarf reduzieren. Dieser Einsparung ist die elektrische Betriebsenergie für die Luftförderung gegenüberzustellen. Je nach gewähltem Energieträger und den Bedarfswerten des Gebäudes fällt diese Bilanz unterschiedlich aus. Wird ein Schulhaus mit Holz beheizt, spricht die reine Betrachtung der Treibhausgase immer gegen eine Lüftung. Wird ein Schulhaus hingegen mit fossilen Brennstoffen beheizt, rechnet sich eine fachgerecht ausgeführte und korrekt betriebene Lüftung. Beim Einsatz von Wärmepumpen mit hohen Jahresarbeitszahlen hängt die Differenz von der Qualität der Lüftung ab. Beispielrechnungen haben gezeigt, dass sich im Einzelfall eine positive, ausgeglichene oder negative Gesamtbilanz ergeben kann. Daher ist vor allem der Planung und Ausführung der Lüftung hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

Beim Projektieren der Instandsetzungen darf neben den energetischen Aspekten nicht vergessen werden, dass es für den Einbau von Lüftungsanlagen sehr gute weitere Gründe gibt. Insbesondere im Bereich der Lufthygiene und des kontrollierten Luftaustausches, der aus bauphysikalischen Gründen, besonders nach dem Einbau von neuen Fenstern, gewährleistet bleiben muss.

6.4.6 Betriebseinrichtungen, Beleuchtung

Für den Stromverbrauch von Betriebseinrichtungen und Beleuchtung wurden keine unterschiedlichen Szenarien gerechnet, sondern von einem konstanten Verbrauch bis in das Jahr 2050 ausgegangen. Die Ausstattungen der Schulen und damit deren Stromverbrauch sind in den letzten Jahren jedoch kontinuierlich angestiegen. Eine detailliertere Betrachtung dieser Thematik ist noch ausstehend.

6.4.7 Energiebeschaffung

Für den Strom wurde in den Hochrechnungen mit den Werten des CH-Verbrauchermix gerechnet, auch für die Fernwärme sind durchschnittliche gesamtschweizerische Werte zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 6.1, Figur 8).

Durch die Beschaffung von erneuerbaren Energien mit ökologischem Mehrwert (Fernwärme, Strom *naturemade-star*) können diese Werte noch einmal deutlich verbessert werden. Dies ist eine massgebliche Stellschraube. Der gegenwärtig für die Verwaltung der Stadt Zürich gemäss Stadtratsbeschluss [11] vorgeschriebenen Stromliefermix enthält einen Anteil von über 50% an *naturemade-star*-Produkten (vgl. Anhang, Kapitel 8.5). Bei der Fernwärme wird der Einfluss des Holzheizkraftwerkes Aubrugg berücksichtigt. Für die Variante *Konsens* können dadurch die Treibhausgasemissionen und die gesamte Primärenergie gegenüber der durchschnittlichen gesamtschweizerischen Energieversorgung je um weitere ca. 15% reduziert werden, die nicht erneuerbare Primärenergie sogar um ca. 35%. Würden in Zukunft nur noch *naturemade-star*-Produkte beschafft, besteht ein Potenzial von je ca. 25% bei den Treibhausgasemissionen und der gesamte Primärenergie und ca. 55% bei der nicht erneuerbaren Primärenergie.

Das Reduktionspotenzial durch Beschaffung von Ökostrom ist stark abhängig von der Verbreitung der Wärmepumpen. Der Variante *Konsens* liegt ein Anteil von rund 55% von Wärmepumpen in den bestehenden Altbauten (vgl. Kapitel 5.5.4) zugrunde. Im Vergleich zum Ist-Zustand kann damit im Betrieb des gesamten Schulhausparks der Stadt Zürich gesamthaft eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um den Faktor 5 erreicht werden.

Der Stromliefermix in den betrachteten Varianten (Verwaltung Stadt Zürich naturemade star 50%, Verwaltung Stadt Zürich effektiv, Energiekonzept Stadt Zürich 2050, siehe Kapitel 8.5) enthält im Vergleich zum CH-Verbrauchermix nur Elektrizität mit ausserordentlich geringen Treibhausgasemissionen, wie Wasser und Wind. Lokal produzierter Solarstrom bringt, wird die Erstellung der Solarstromanlage eingerechnet, rechnerisch keine Verbesserung der Bilanz – das in der Ausgangslage mit CH-Verbrauchermix interessante Solarpotenzial entfällt deshalb in den drei Varianten mit Ökostrom. Es stellt sich allerdings die Frage, wie weit ein deutlicher Ausbau von Wasserkraftwerken in der Schweiz und der Einkauf von Windenergie aus dem Ausland tatsächlich einer lokalen Stromversorgung mit Solarenergie vorzuziehen ist. Dasselbe gilt auch für die Solarstrombeschaffung. Enthält der naturemade-star-Strom in Zukunft einen massgeblichen Solarstromanteil, schrumpft das oben beschriebene Reduktionspotenzial an Treibhausgasemissionen durch Beschaffung von Ökostrom wieder deutlich.

6.4.8 Mobilität

Bei der Mobilität haben die Schulhäuser in der Stadt Zürich einen deutlichen Vorteil gegenüber dem schweizerischen Mittel. Dies erklärt auch, warum die Werte nur etwa halb so hoch sind wie der Richtwert des SIA-Effizienzpfades Energie. Dieser Bonus hilft Energieverbräuche in anderen Verwendungszwecken zu kompensieren. Dabei ist interessant, dass ein Grossteil der Mobilitätsenergie durch den Arbeitsweg der Lehrer verursacht wird. Die stark besiedelte Stadt ermöglicht eine hohe Dichte an Schulhäusern und kurze Schulwege für die Schüler. Die Mobilitätsenergie kann jedoch bei schlechteren Bedingungen deutlich ansteigen und somit entscheidend werden. Das Thema Mobilität wird im Teilprojekt *Beitrag der Schulen* des Schulamtes weiter verfolgt.

6.4.9 Regionale Sicht der 2000-Watt-Gesellschaft für die Stadt Zürich

Bei den Treibhausgasemissionen setzt die Gemeindeordnung der Stadt Zürich mit 1 Tonne pro Kopf für das Jahr 2050 auf eine weitergehende Reduktion verglichen mit 2 Tonne pro Kopf gemäss Methodikpapier [2] und SIA-Effizienzpfad Energie [1]. Entsprechend zu dieser Reduktion werden Zielwerte gesetzt von 2500 W/P für die gesamte und 500 W/P für die nicht erneuerbare Primärenergie [14].

In der regionalen Sicht wird in der Kernbilanz nur der Betrieb der Schulbauten und der Mobilität einbezogen, wobei der effektive Energieliefermix berücksichtigt werden darf. Die Grauen Treibhausgasemissionen für die Erstellung der Gebäude und die Verkehrsinfrastruktur bleiben ausgeklammert, da diese Anteile aus regionaler Sicht Bestandteil der Schattenrechnung für den Import-/Export-Saldo von Gütern und Dienstleistungen sind.

Mit dem Energieliefermix 2011 der Verwaltung und des Energiekonzeptes 2050 kann auch unter Einbezug der Mobilitätsenergie für den Personentransport und die Graue Energie der Energieträger das ambitionierte Ziel erreicht werden. Die Grauen Treibhausgasemissionen für die Erstellung der Gebäude und die Verkehrsinfrastruktur übersteigen die Zielsetzung der Gemeindeordnung aber deutlich.

Es gibt wie erläutert gute Gründe - insbesondere die Datenlage - um für die Betrachtung einer Region die Grauen Treibhausgasemissionen der Erstellung der Gebäude auszunehmen. Nimmt man diese hingegen bei Überlegungen zu einer Gebäudestrategie aus, können sich irreführende Schlussfolgerungen ergeben. Neubauten würden sich etwa im Vergleich zu Instandsetzungen – wenn man die Grauen Treibhausgasemissionen aus der Erstellung von der Betrachtung ausschliesst – zu positiv auswirken.

Gebäudesicht versus regionale Sicht – Darstellung anhand der Variante Konsens

Anhand der Hochrechnung für die Schulbauten im Jahre 2050 soll der Unterschied zwischen der Gebäudesicht nach SIA-Effizienzpfad Energie und der regionalen Sicht der 2000-Watt-Gesellschaft illustriert werden. Die Darstellung der Hochrechnungsergebnisse unterscheidet sich deshalb von den vorhergehenden Darstellungen: Ausgegangen wird dabei immer von der Variante Konsens, wie sie in den vorgehenden Kapiteln beschrieben wurde. Um eine bessere Übersicht zu erhalten ist die Skala der Grafik vergrössert.

Gebäudesicht (erste und zweite Säule):

Die Säulen für den SIA-Effizienzpfad Energie [1] sind unterteilt in Abschnitte für den Betrieb der Schulbauten und die Mobilitätsenergie für den Personentransport, wie auch die Erstellung der Gebäude und der Verkehrsinfrastruktur.

Erste Säule: Die Elektrizität ist mit dem CH-Verbrauchermix und die Fernwärme mit Nutzung von Kehrlichtabwärme eingesetzt (wie in allen Hochrechnungen gemäss Kapitel 6.1).

Zweite Säule: Bei der Elektrizität wird der Stromliefermix, wie er bereits heute für die Zürcher Stadtverwaltung festgelegt ist, berücksichtigt. Gemäss SIA-Effizienzpfad Energie kann nur für den Anteil mit ökologischem Mehrwert (naturemade star) mit reduzierten Primärenergiefaktoren und Treibhausgaskoeffizienten gerechnet werden. Für die Fernwärme werden die Werte unter Berücksichtigung des Holzheizkraftwerks Aubrugg eingesetzt.

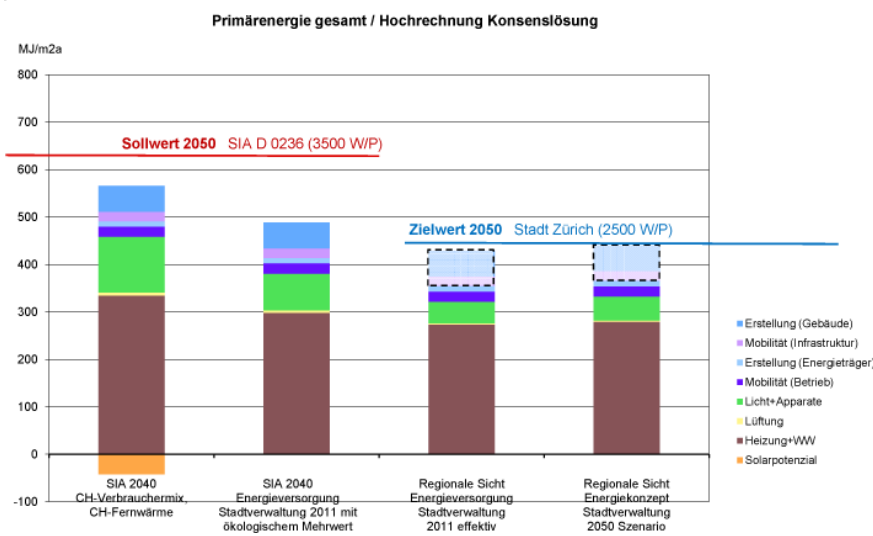
Regionale Sicht (dritte und vierte Säule):

Die regionale Sicht gemäss Methodikpapier [2] umfasst den Betrieb der Gebäude sowie der Mobilität. Die Graue Energie und Treibhausgase für die Gebäudeerstellung und die Mobilitätsinfrastruktur werden dargestellt, sind aber nicht Bestandteil der regionalen Sicht der Stadt Zürich.

Dritte Säule: Bei der regionalen Sicht wird der effektive heutige Stromliefermix für die Zürcher Stadtverwaltung und die Fernwärme unter Berücksichtigung des Holzheizkraftwerkes Aubrugg eingerechnet.

Vierte Säule: Beim Energieliefermix werden die Daten des Energieversorgungskonzeptes 2050 für die Stadt Zürich [11] eingesetzt. Das Ergebnis zeigt, dass der effektive heutige Stromliefer- und Fernwärmemix kaum mehr ein Verbesserungspotenzial aufweisen.

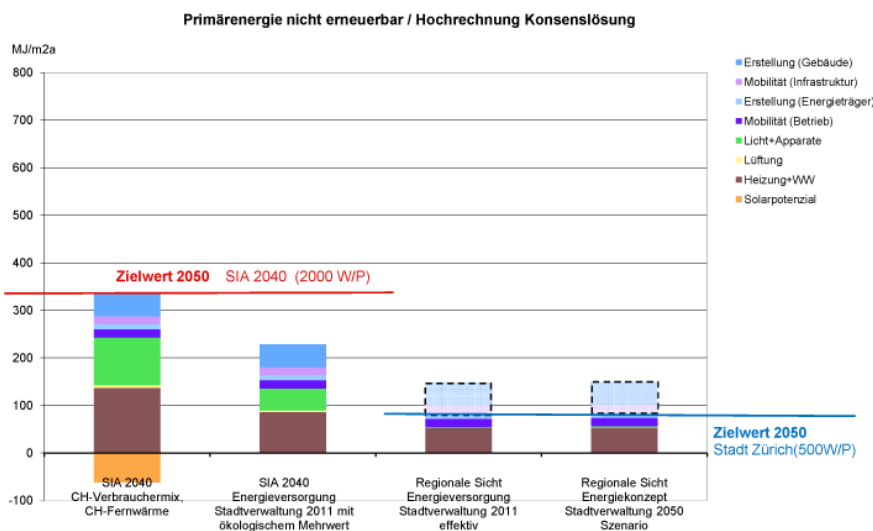
Figur 14: Hochrechnungen für den gesamten Schulhauspark der Stadt Zürich in Variante *Konsens*: Gebäudebezogene Sicht gemäss SIA-Effizienzpfad Energie verglichen mit regionaler Sicht gemäss Gemeindeordnung Stadt Zürich unter Einbezug des Energieliefermixes.



Primärenergie gesamt

Mit dem heutigen Stromliefermix (CH-Verbraucher mix) wird der Zielwert nach SIA 0236 um rund 10% unterschritten.

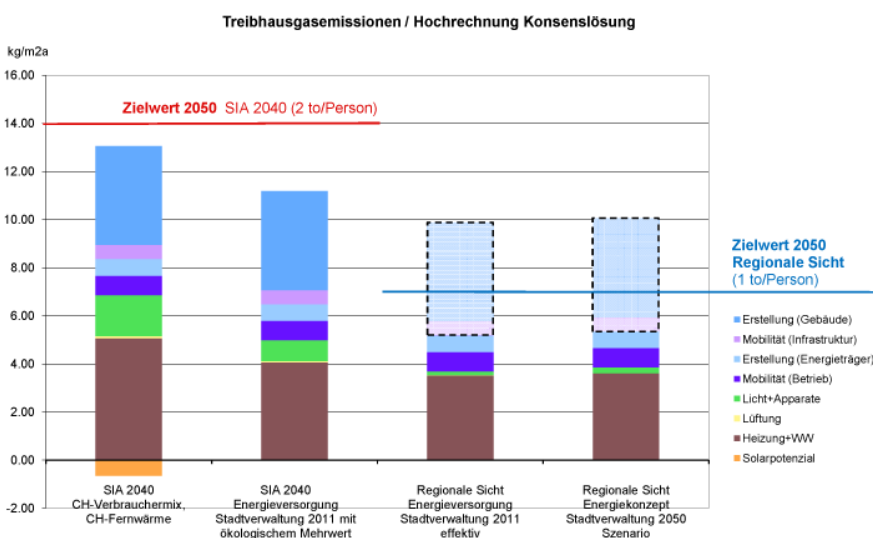
Der regionale Zielwert der Stadt Zürich kann ebenfalls unterschritten werden. Dabei werden die Bereiche Erstellung Gebäude, Mobilität Infrastruktur (in der Darstellung gestrichelt umrandet) nicht mitgerechnet.



Primärenergie nicht erneuerbar

Mit dem heutigen Stromliefermix (CH-Verbraucher mix) wird der Zielwert gemäss SIA 2040 knapp unterschritten. Auch die Zielwerte der Stadt Zürich können nur knapp erreicht werden.

Mit einer Energieversorgung, welche ganz massgeblich auf erneuerbare Energie setzt, kann die nicht erneuerbare Primärenergie sehr deutlich reduziert werden.



Treibhausgasemissionen

Der Zielwert 2050 gemäss SIA-Effizienzpfad Energie liegt bei jährlich 2 Tonnen pro Kopf.

Gemäss Gemeindeordnung soll eine Reduktion auf nur 1 Tonne erreicht werden. Auch bei den Treibhausgasen ist der Einfluss der Energieversorgung ein wesentlicher Faktor.

6.4.10 Innovation, neue Technologien

Alle Werte der Hochrechnung entsprechen dem heutigen Stand der Technologie. Für Primärenergiefaktoren und Treibhausgaskoeffizienten wurden heutige Werte eingesetzt. Innovationen, neue Technologien, sowie Effizienzsteigerungen sind in die Szenarien nicht eingerechnet. Hier sind in vielen Bereichen Entwicklungen zu erwarten, wie z.B. Reduktion der grauen Treibhausgasemissionen bei der Baustoffherstellung oder Solarstromanlagen, Effizienzsteigerungen der Gebäudetechnik, etc.

7 Implementierung und Ausblick

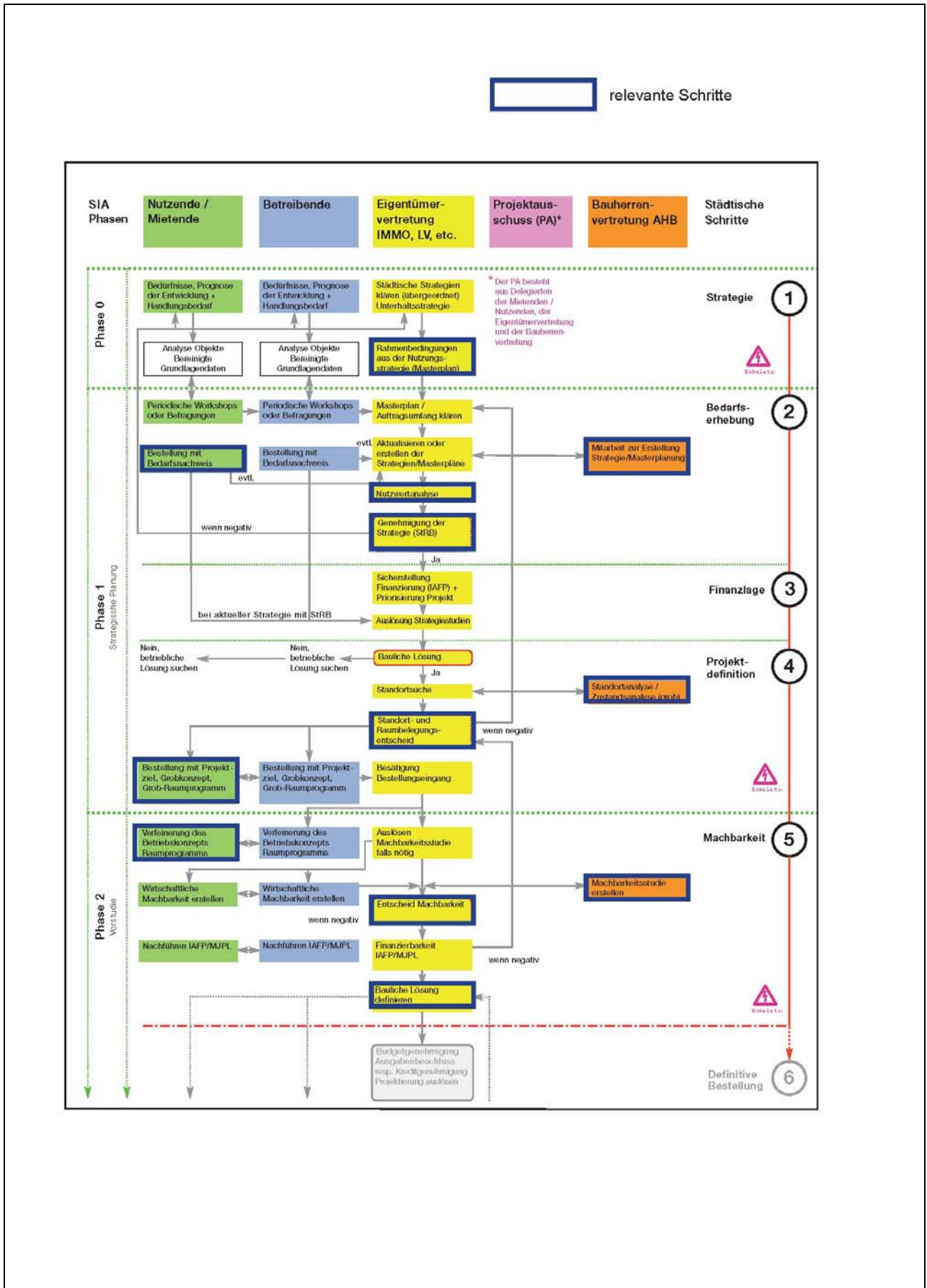
7.1 Implementierung: Umsetzung der baulichen Massnahmen

Die Handlungsmöglichkeiten für bauliche Massnahmen auszuloten war ein zentrales Anliegen dieses Projektes. Um die Erreichung der 2000-Watt-Ziele sicher zu stellen, wurden im Projektteam die einzelnen Schritte im *Verfahrenshandbuch für allgemeine Bauvorhaben der Stadt Zürich* [9] speziell für die Schulen präzisiert und als Vorgehen vereinbart.

Die Zuständigkeiten von Immobilien-Bewirtschaftung, AfS und AHB wurden geklärt und ein zeitlicher Rhythmus festgelegt. Wichtige Schritte dabei sind:

- Portfolioübersicht bauliche Massnahmen: Bewertung und Kontrolle der Ziele, provisorischer Schutzzumfang, halbjährliche Sitzung mit SREM, FSnB, praktischer Denkmalpflege, Inventarisierung, IST, FSEGT (Federführung Immobilien-Bewirtschaftung).
- Input und Mitarbeit Fachstelle nachhaltiges Bauen (FSnB) und Denkmalpflege in verschiedenen Prozessschritten (Federführung Immobilien-Bewirtschaftung respektive Amt für Hochbauten in Abhängigkeit von Projektphase).
- Information an Kontaktgruppe Schule in verschiedenen Prozessschritten (Federführung Immobilien-Bewirtschaftung respektive Amt für Hochbauten in Abhängigkeit von Projektphase).
- Festlegung und Verfolgung der Ziele und Massnahmen auf Objektebene im Projekthandbuch (Federführung Amt für Hochbauten).
- Controlling auf Portfolioebene: Aktualisierung der Hochrechnung mit realisierten Bauten und aktualisierten Daten alle 4 Jahre mit Input für kommende Planungen (Federführung FSnB, Amt für Hochbauten).

Das Vorgehen ist in Figur 15-18 dargestellt.

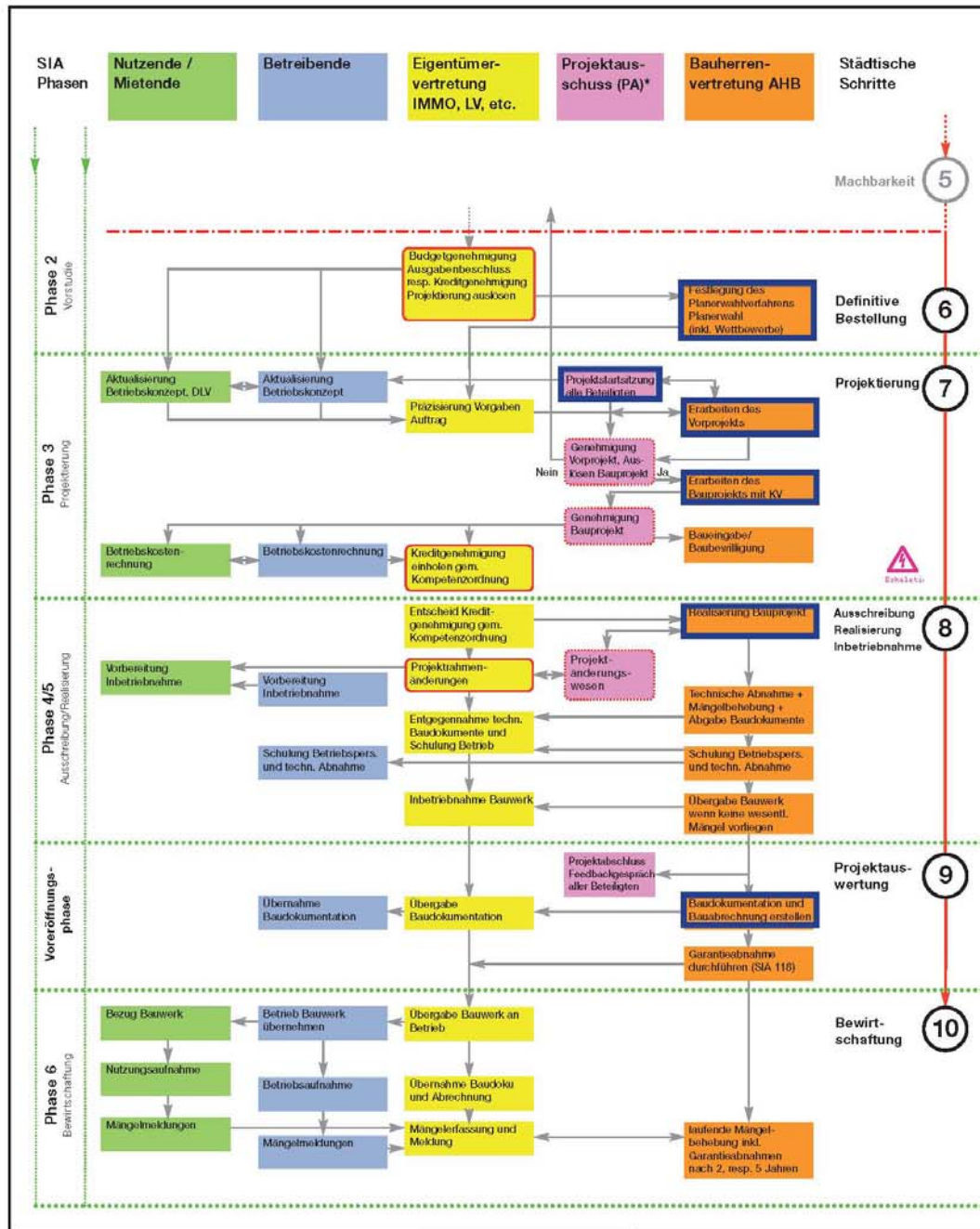


Figur 15: Ausschnitt aus dem Verfahrenshandbuch für allgemeine Bauvorhaben der Stadt Zürich, Schritte 1-5

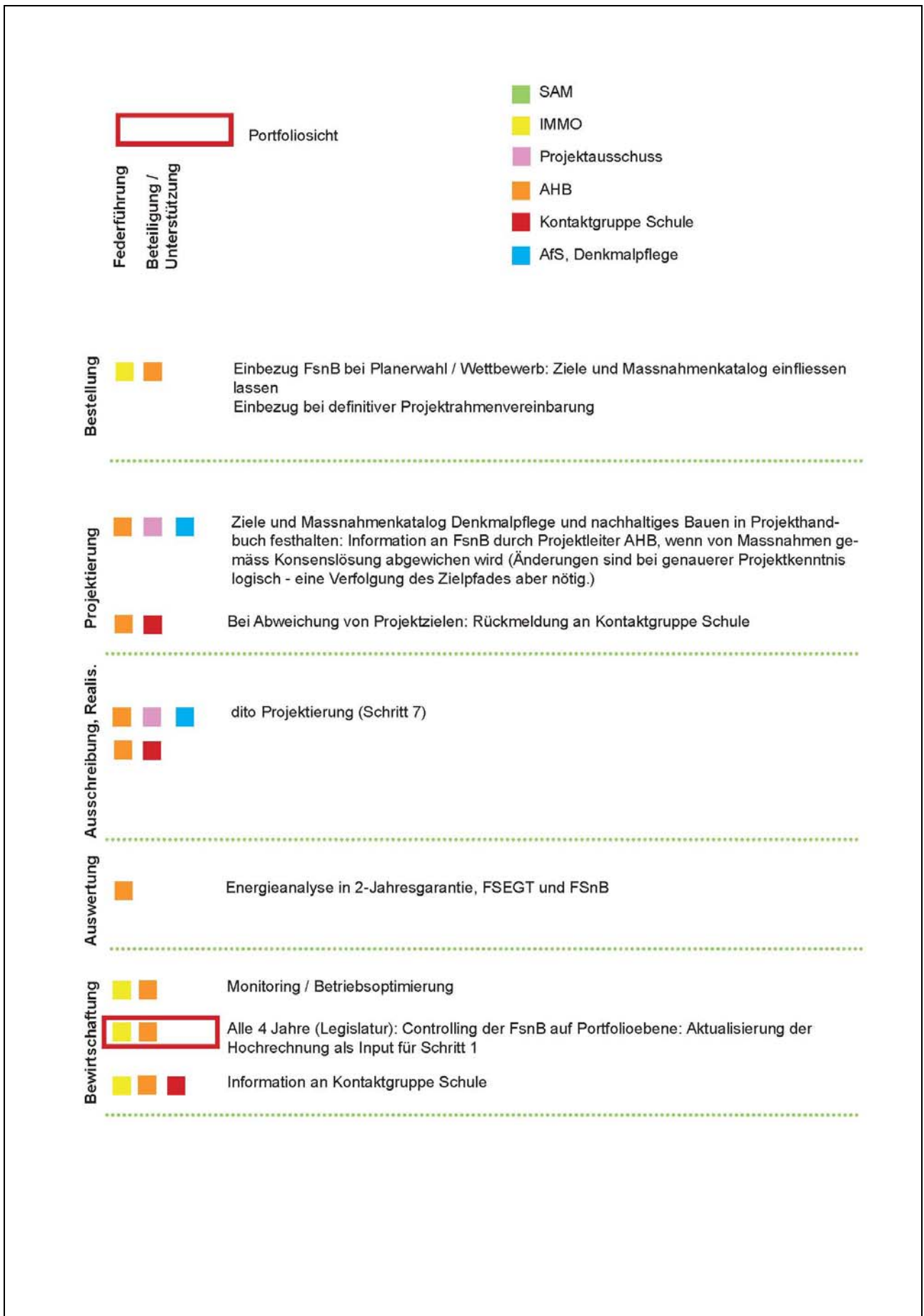


Figur 16: Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft: Präzisierung der für die Umsetzung der baulichen Massnahmen nötigen Schritte 1-5

relevante Schritte



Figur 17: Ausschnitt aus dem *Verfahrenshandbuch für allgemeine Bauvorhaben der Stadt Zürich*, Schritte 6-10



Figur 18: Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft: Präzisierung der für die Umsetzung der baulichen Massnahmen nötigen Schritte 6-10

7.2 Ausblick

Der Weg der Volksschulen der Stadt Zürich bis zum Etappenziel 2050 möglich, wenn die in der Zusammenfassung (Kapitel 1) dargelegten offenen Punkte umgesetzt, bzw. gelöst werden können, insbesondere

- **Langfristige Implementierung der baulichen Massnahmen und Controlling Zielerreichung**

- **Finanzierung**

Die Szenarien gehen davon aus, dass alle Schulhäuser bis zum Jahr 2050 einmal instandgesetzt werden. Die Finanzierung dafür zu sichern ist entscheidende Grundvoraussetzung (vgl. Kapitel 6.3 Kosten / Nutzenbetrachtung).

- **Umsetzung der nicht baulichen Massnahmen**

Flächenverbrauch, Multiplikation / Nutzerverhalten und Mobilität werden im Teilprojekt 2 genauer untersucht und Verantwortlichkeiten und Handlungsspielräume aufgezeigt. Ergebnisse sind bis Ende 2011 zu erwarten.

- **Verfolgung und Einsatz technischer Innovationen**

Dem Innovationsmanagement insbesondere der Fachstellen nachhaltiges Bauen und Energie und Gebäudetechnik (AHB) sowie IST (IMMO) kommt hier eine besondere Bedeutung zu.

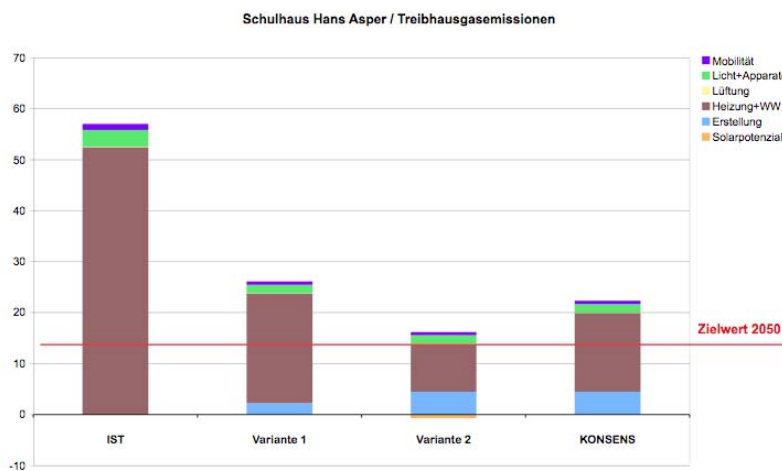
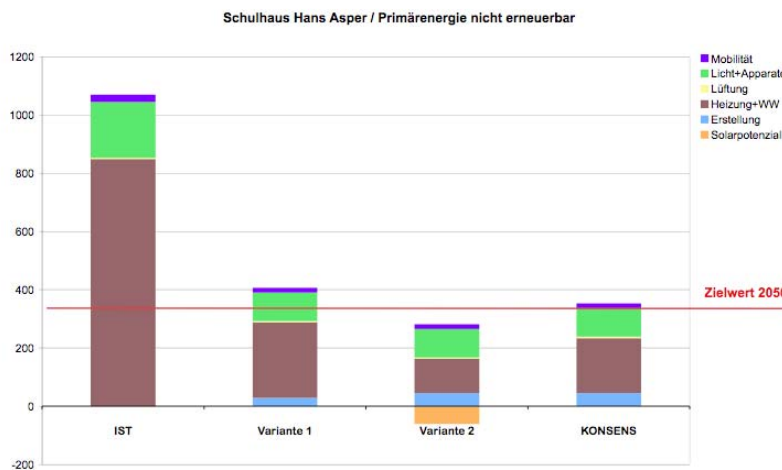
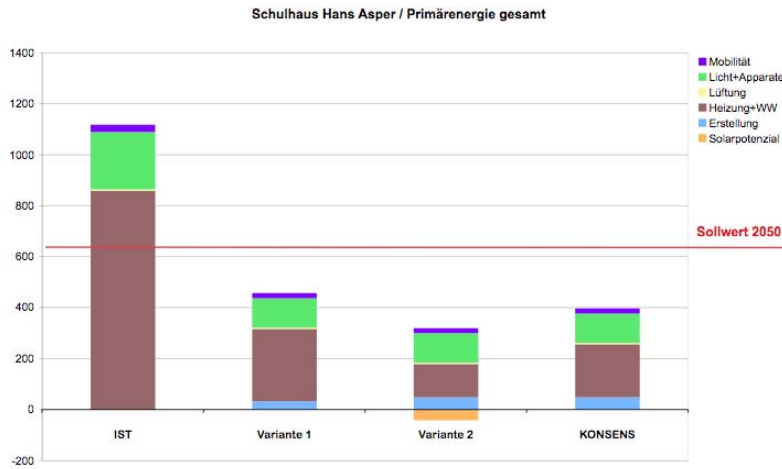
8 Anhang

8.1 Daten pro Schulhaus

Auf den folgenden Seiten sind die elf näher untersuchten Schulbauten ausführlich dokumentiert und insbesondere auch die konkreten Massnahmen den Varianten zugeordnet.

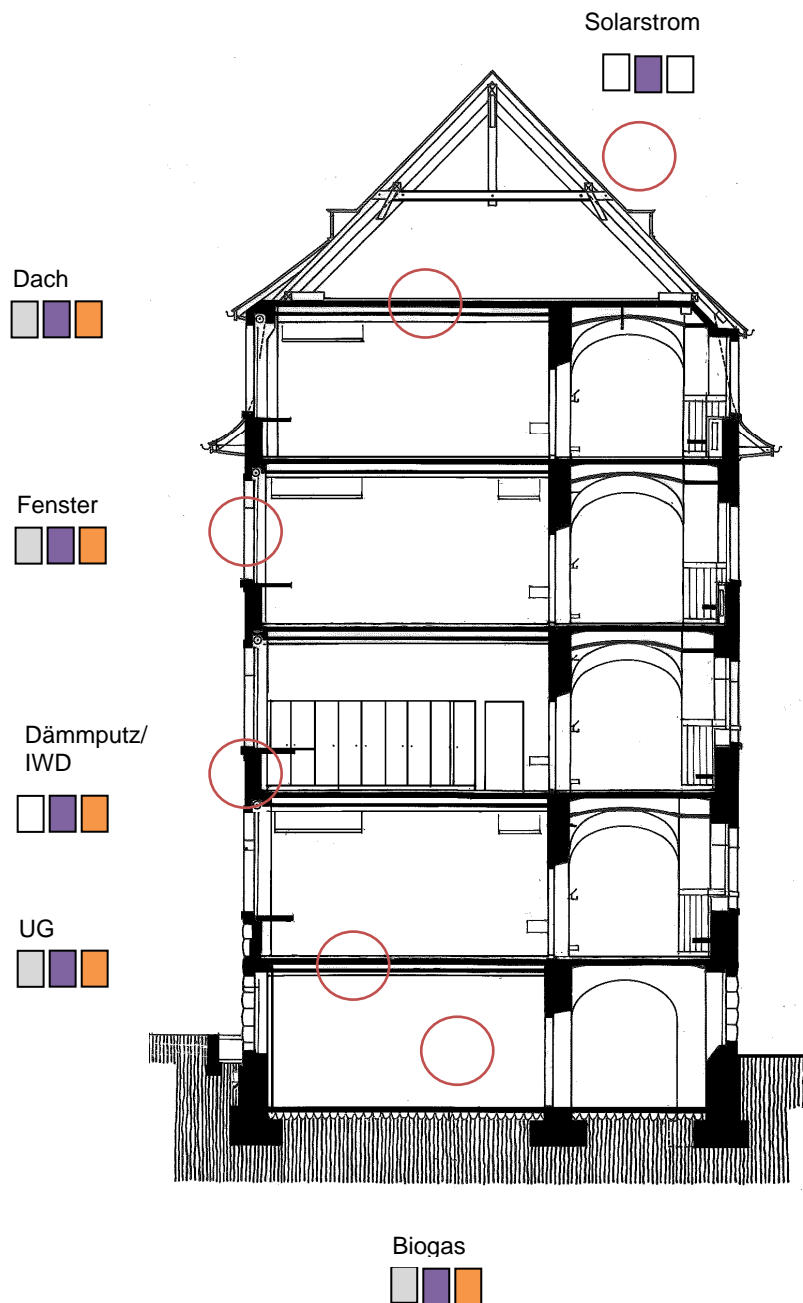
Schulhaus Asper

Baujahr 1912. Energiebezugsfläche: 5'240 m². Gebäudehüllfaktor: 0.92 (ohne Turnhalle).
Denkmalpflege: Schutzzumfang Fassaden und Korridore.



Schnitt Schulhaus Asper

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 591
MJ/m²a (ohne Turnhalle)

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 467
MJ/m²a (ohne Turnhalle)

Fenster neu mit 2-IV

Steildach, Estrichboden und
Decke gegen unbeheizt
gedämmt.

Energieträger neu: Biogas

Variante 2

Heizwärmebedarf: 186
MJ/m²a (ohne Turnhalle)

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände teilweise mit
Dämmputz, teilweise mit
Innendämmung (ca. hälftig).

Steildach, Estrichboden und
Decke gegen unbeheizt
gedämmt.

Boden und Wände zu Erd-
reich innen gedämmt.

Energieträger neu: Biogas

Solarstromanlage auf Steil-
dach.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 328
MJ/m²a (ohne Turnhalle)

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände teilweise mit
Dämmputz, Innendämmung
bei Heizkörpernischen und in
den Schulzimmern.

Steildach, Estrichboden und
Decke gegen unbeheizt
gedämmt.

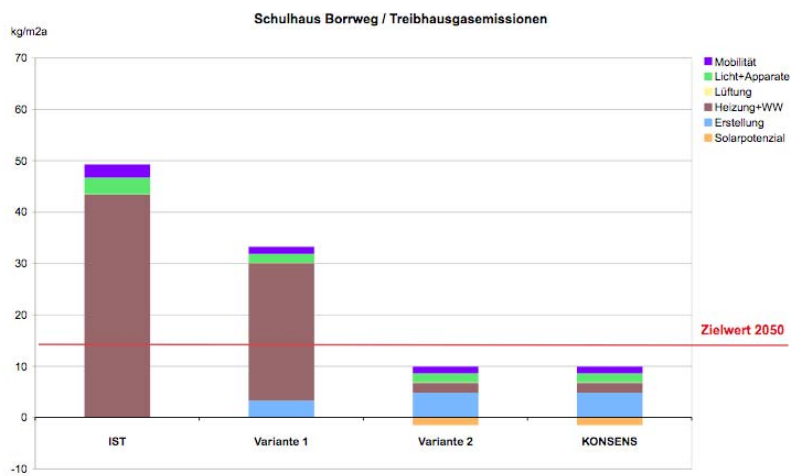
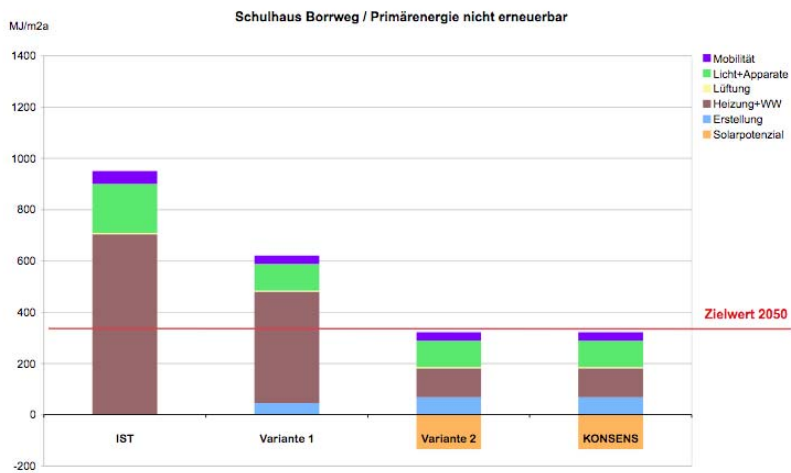
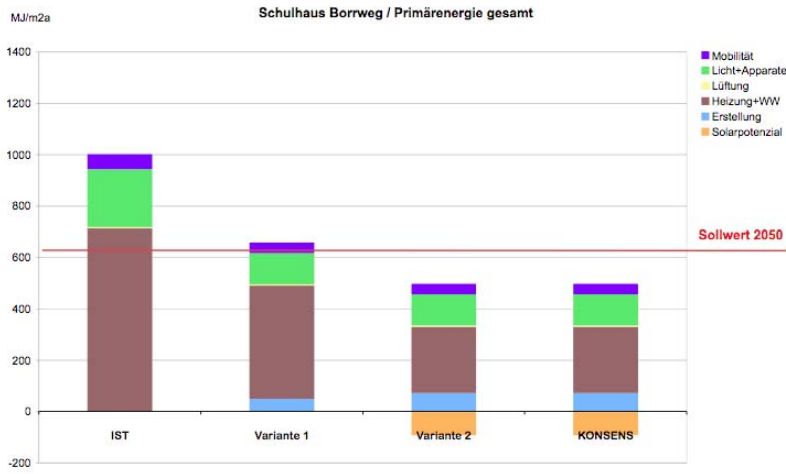
Boden und Wände zu Erd-
reich innen gedämmt.

Energieträger neu: Biogas

Keine Solarstromanlage.

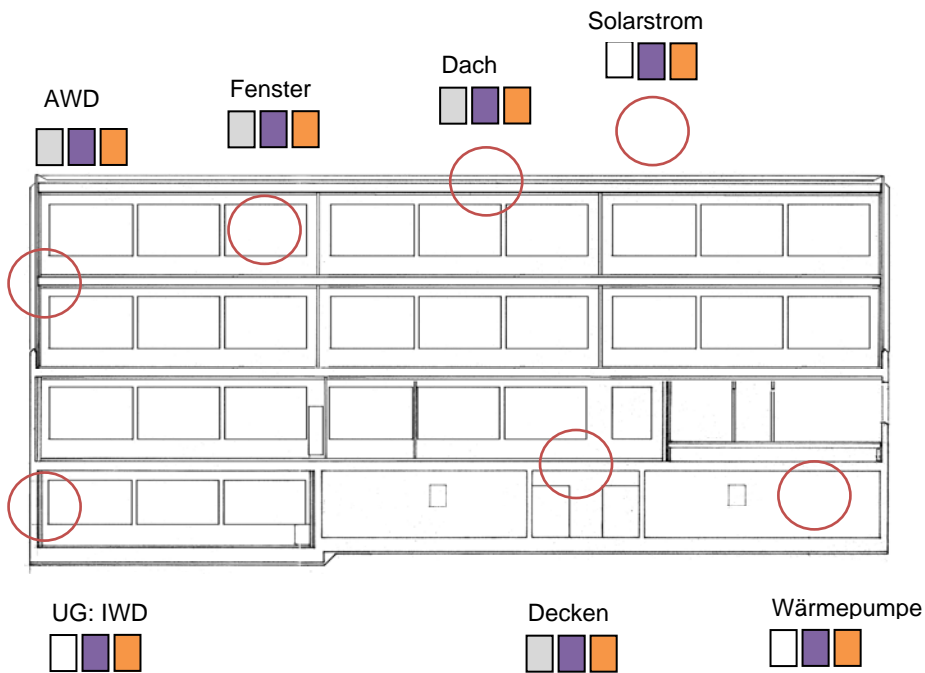
Schulhaus Borrweg

Baujahr 1973. Energiebezugsfläche: 1'615 m². Gebäudehüllfaktor: 1.28.
Denkmalpflege: Kein Schutzzumfang.



Schnitt Schulhaus Borrweg

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 484 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 269 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Flachdach und Decke gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger Bestand: Gas

Variante 2

Heizwärmebedarf: 139 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

Flachdach und Decke gegen unbeheizt gedämmt.

Boden und Wände zu Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Erdsonden-Wärmepumpe

Solarstromanlage auf Flachdach.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 139 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

Flachdach und Decke gegen unbeheizt gedämmt.

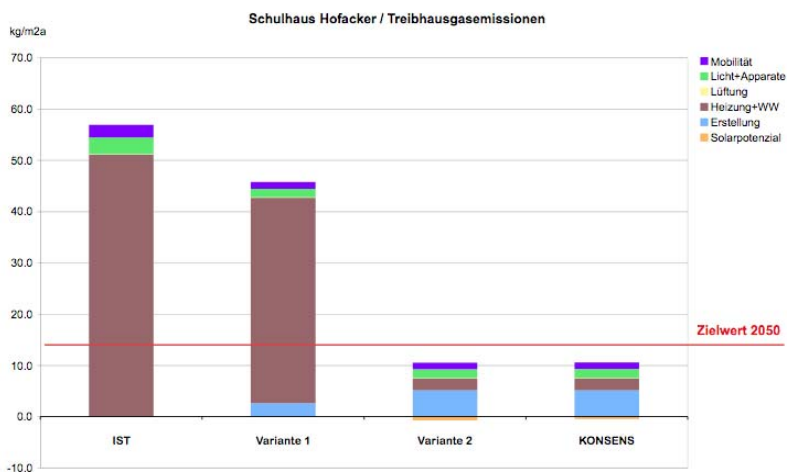
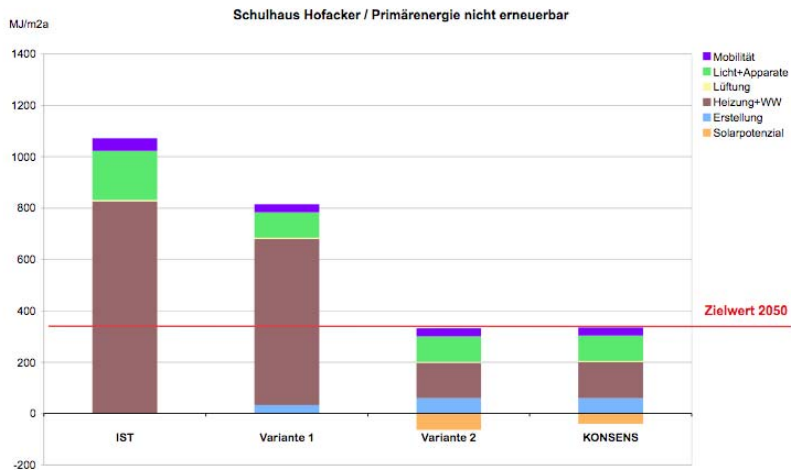
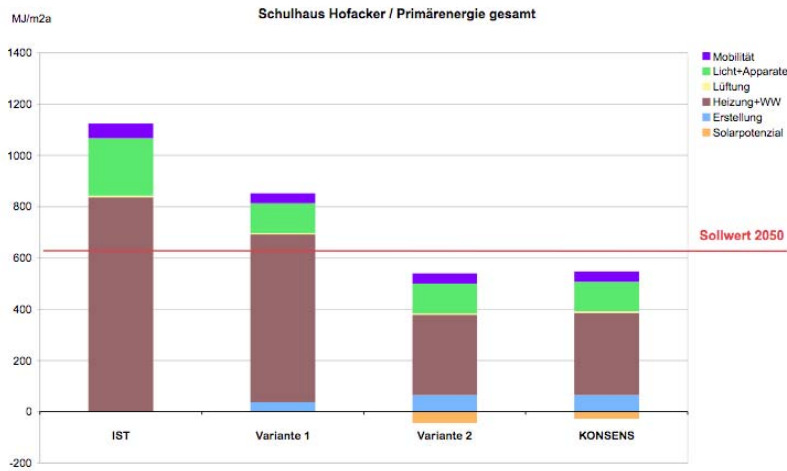
Boden und Wände zu Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Erdsonden-Wärmepumpe

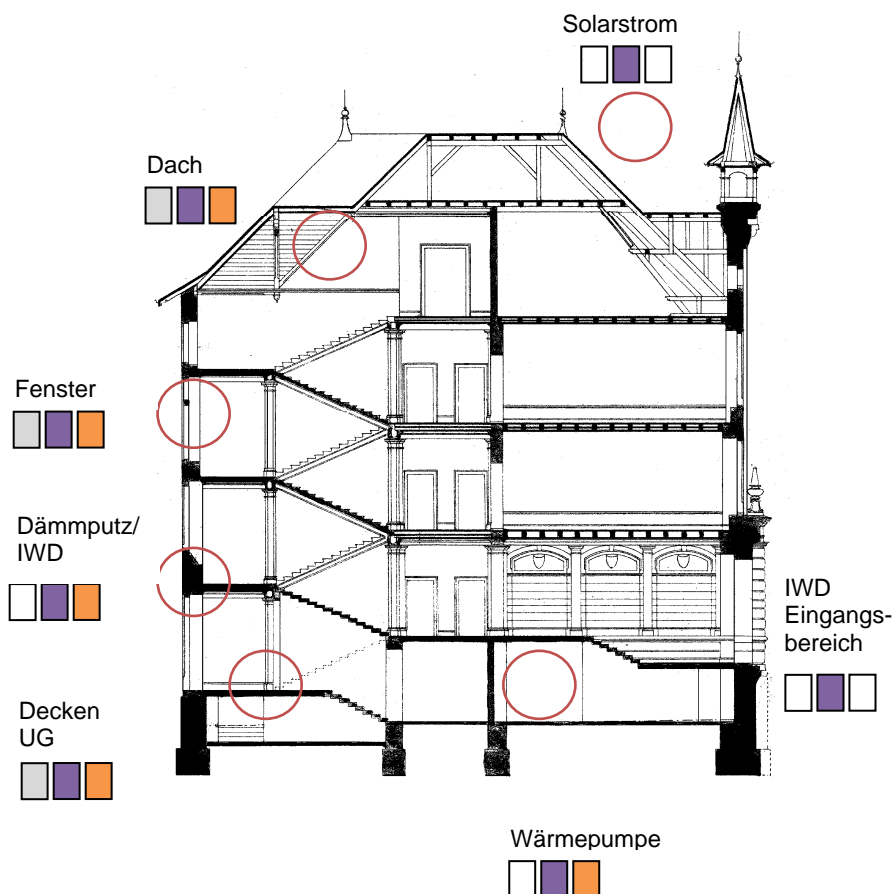
Solarstromanlage auf Flachdach.

Schulhaus Hofacker

Baujahr 1898. Energiebezugsfläche: 4'070 m². Gebäudehüllfaktor: 1.01 (ohne Turnhalle).
Denkmalpflege: Schutzzumfang Fassaden.



Schnitt Schulhaus Hofacker (ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 575 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 446 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Steildach und Decke gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger Bestand: Gas

Variante 2

Heizwärmebedarf: 177 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände teilweise mit Dämmputz, zum grössten Teil mit Innendämmung.

Steildach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände zu Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Erdsonden-Wärmepumpe

Solarstromanlage auf Schrägdach.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 182 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände teilweise mit Dämmputz, zum grössten Teil mit Innendämmung. Eingangsbereich nicht dämmen.

Steildach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände zu Erdreich innen gedämmt.

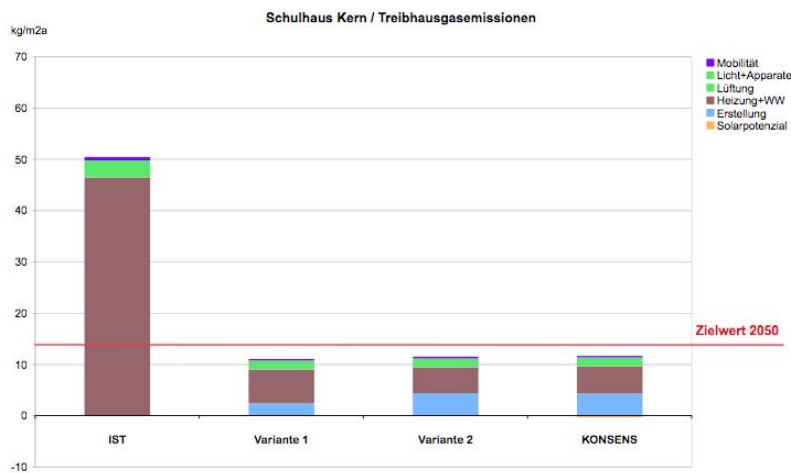
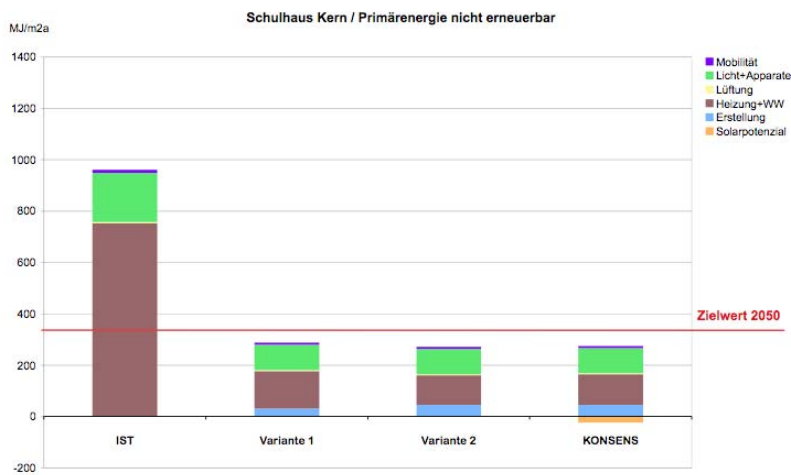
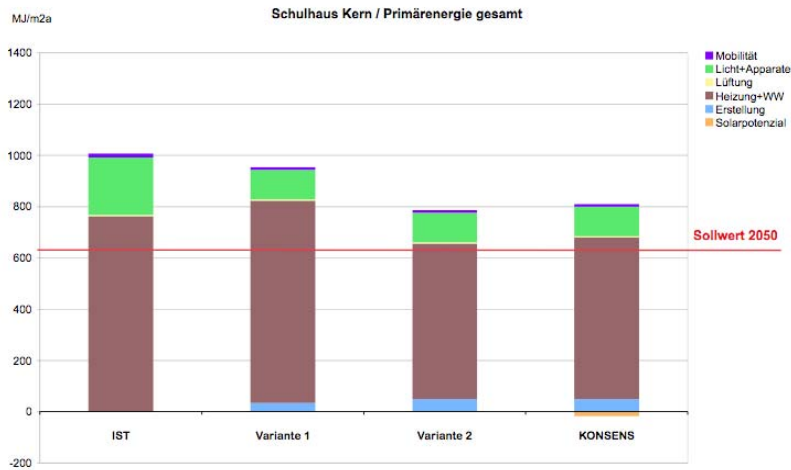
Energieträger neu: Erdsonden-Wärmepumpe

Solarstromanlage teilweise auf Herterbau.

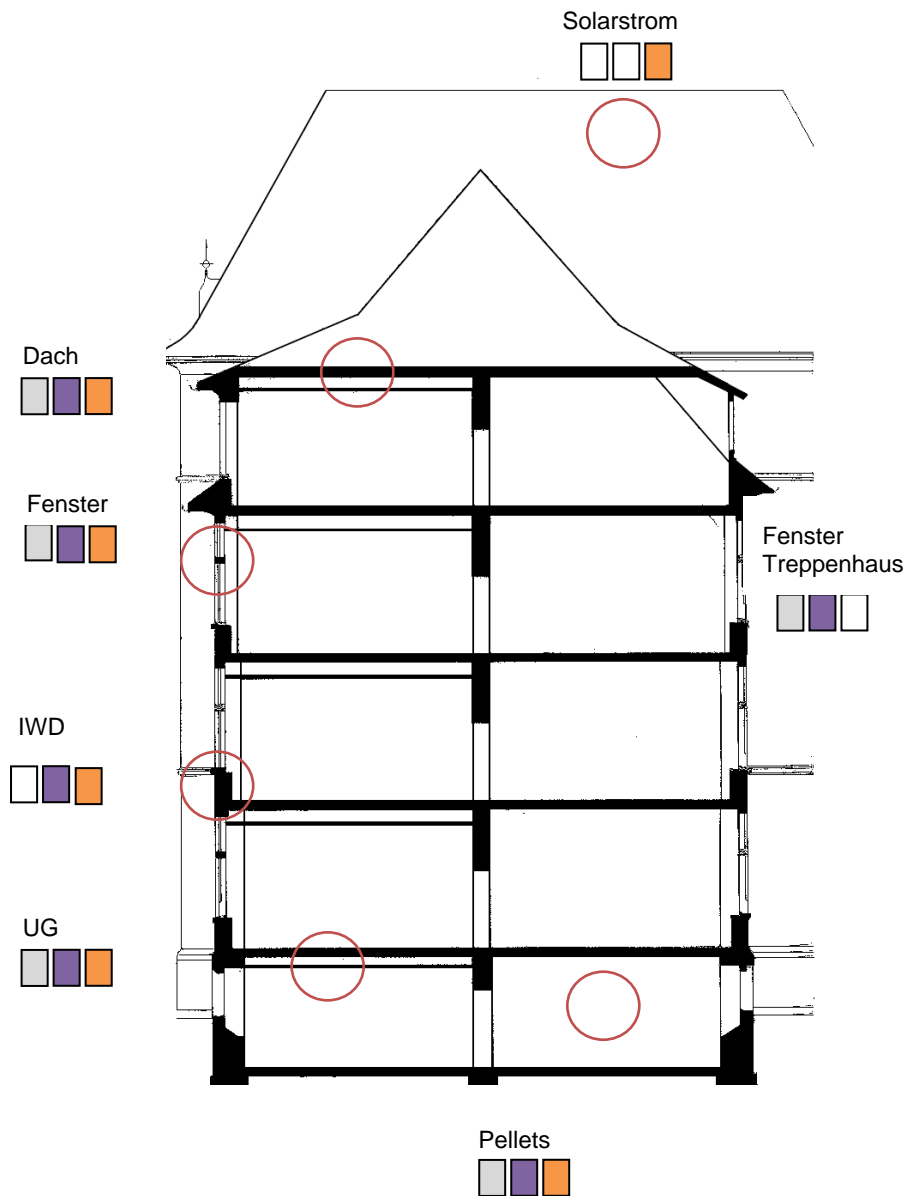
Schulhaus Kern

Baujahr 1902. Energiebezugsfläche: 5'226 m². Gebäudehüllfaktor: 0.86
(ohne Turnhalle, ohne Wohnen).

Denkmalpflege: Schutzzumfang Fassaden.



Schnitt Schulhaus Kern (ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 520 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 419 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Steildach und Decke gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Variante 2

Heizwärmebedarf: 314 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände zum grössten Teil mit Innendämmung.

Steildach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände zu Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Keine Solarstromanlage.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 328 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV. Ausser Fenster im Treppenhaus.

Aussenwände zum grössten Teil mit Innendämmung.

Steildach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände zu Erdreich innen gedämmt.

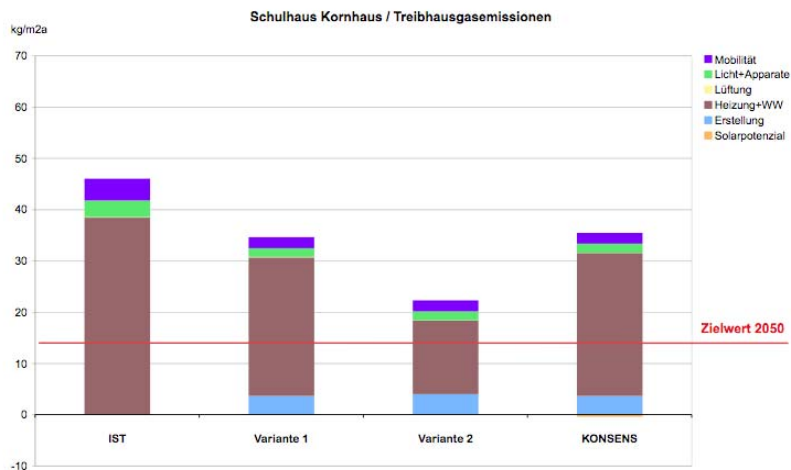
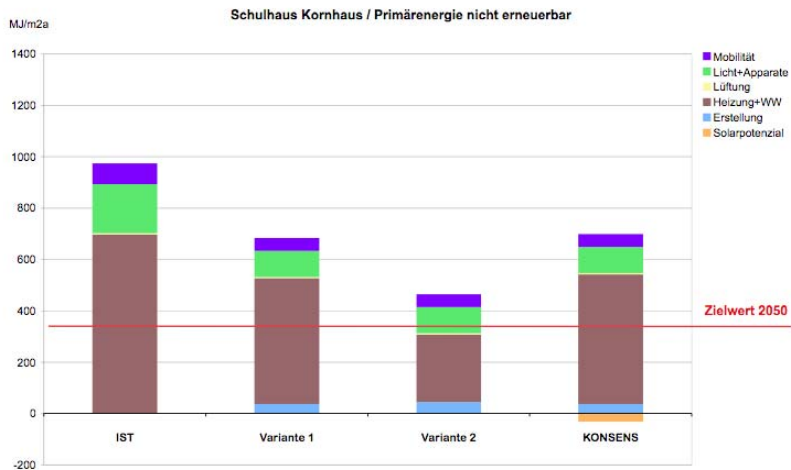
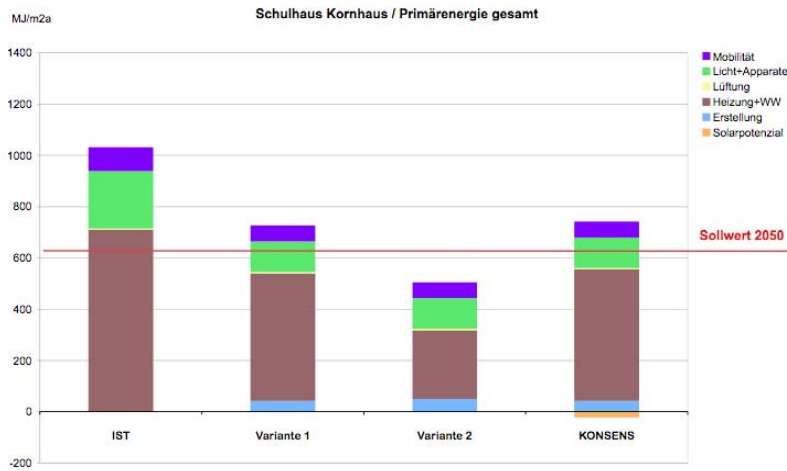
Energieträger neu: Pellets

Solarstromanlage auf Turnhallendach.

Schulhaus Kornhaus

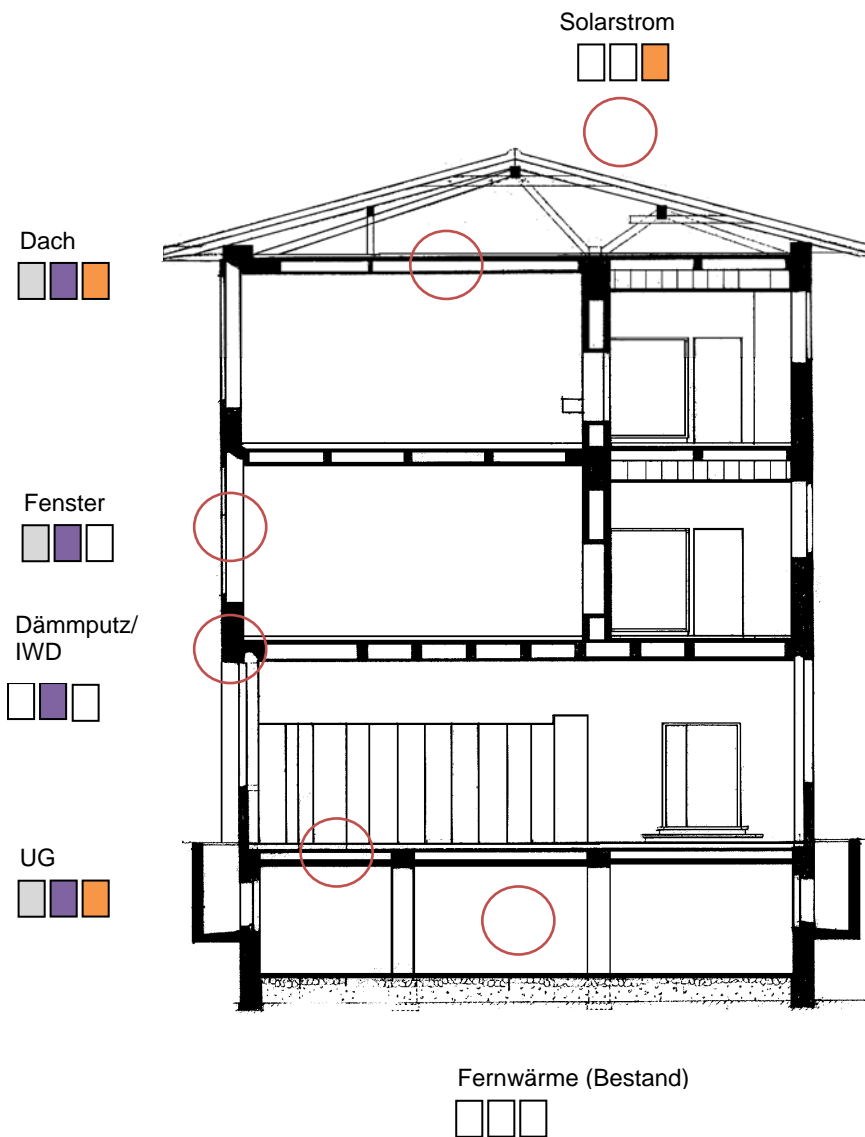
Baujahr 1941. Energiebezugsfläche: 2'097 m². Gebäudehüllfaktor: 1.49.

Denkmalpflege: Schutzzumfang Fassaden inkl. Fenster, Korridore, Schulräume.



Schnitt Schulhaus Kornhaus

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 738 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Fernwärme

Variante 1

Heizwärmebedarf: 511 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Flachdach und Decken gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger Bestand: Fernwärme

Variante 2

Heizwärmebedarf: 257 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Verputzte Fassaden neu mit Dämmputz, Südostfassade mit Innenwärmedämmung.

Flachdach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden gegen aussen gedämmt.

Energieträger Bestand: Fernwärme

Keine Solarstromanlage.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 528 MJ/m²a

Fensterersatz nur teilweise, nicht Isolierverglasung.

Keine Dämmung der Aussenwand.

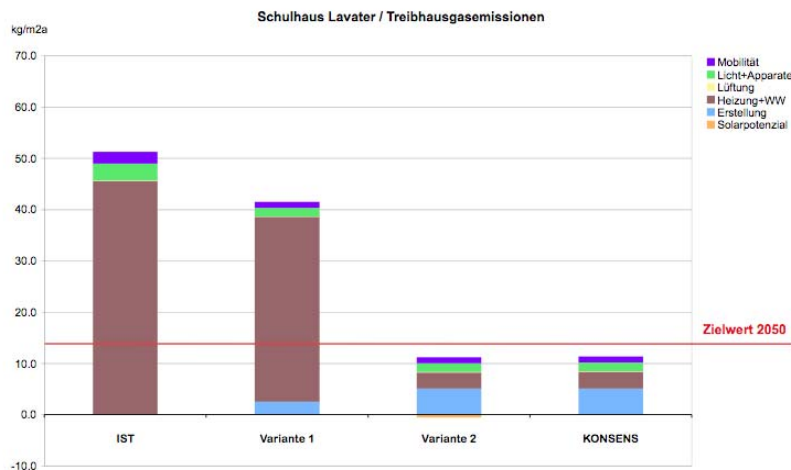
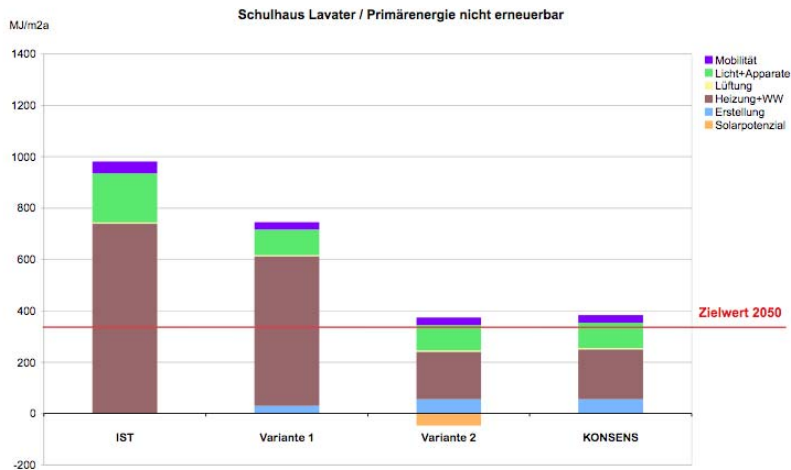
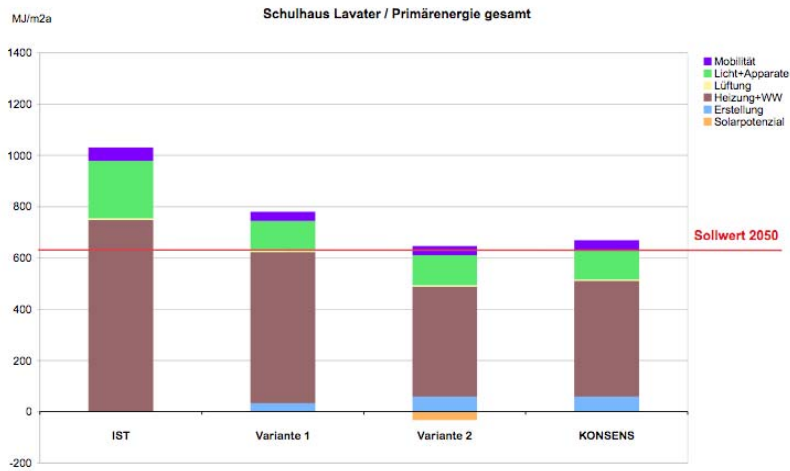
Flachdach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden gegen aussen gedämmt.

Energieträger Bestand: Fernwärme

Solarstromanlage auf Turnhalle prüfen.

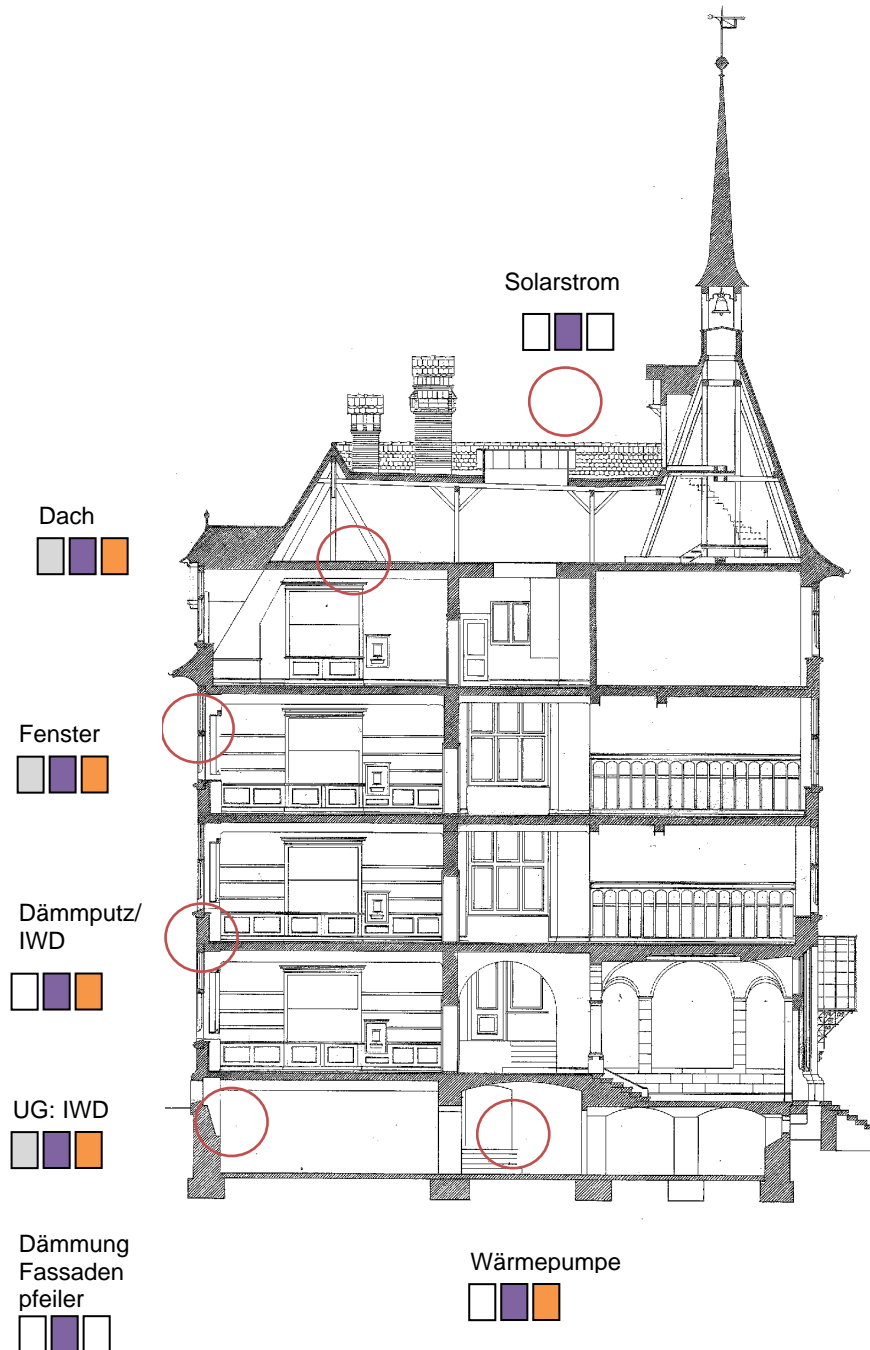
Schulhaus Lavater

Baujahr 1897. Energiebezugsfläche: 3'583 m². Gebäudehüllfaktor: 0.89.
Denkmalpflege: Schutzzumfang Fassaden.



Schnitt Schulhaus Lavater

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 510 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 398 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Schrägdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger Bestand: Gas

Variante 2

Heizwärmebedarf: 255 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Verputzte Fassaden neu mit Dämmputz, andere Fassaden mit Innenwärmedämmung.

Schrägdach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände gegen Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Solarstromanlage auf Zinne.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 270 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Verputzte Fassaden neu mit Dämmputz, andere Fassaden mit Innenwärmedämmung. Bei Sandsteinpfeilern keine Dämmung.

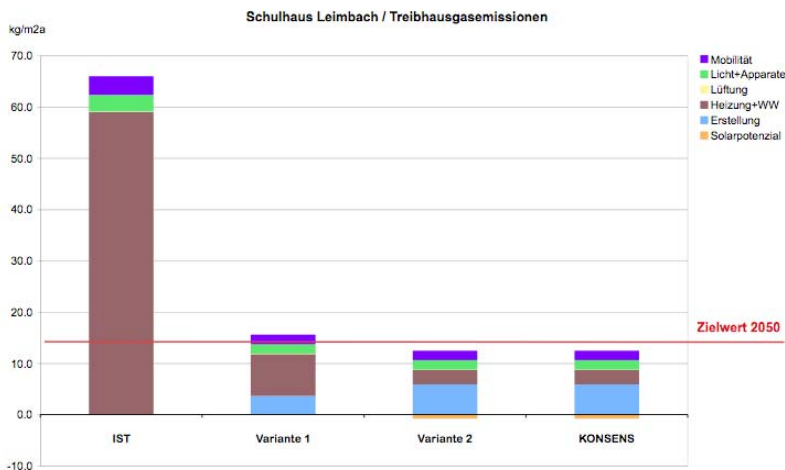
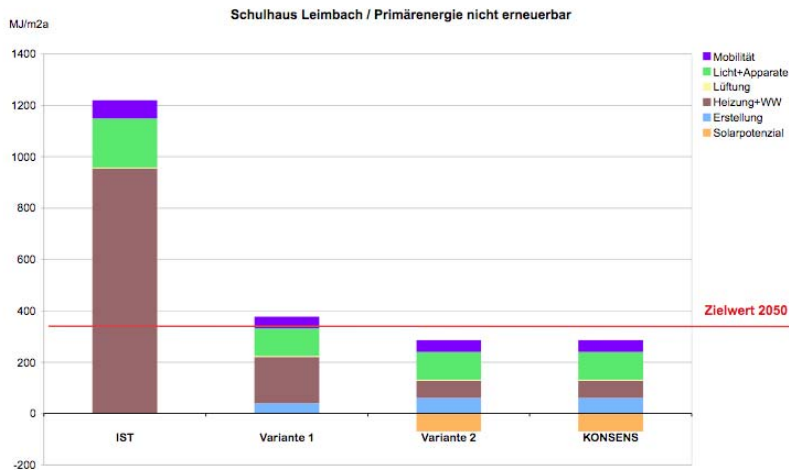
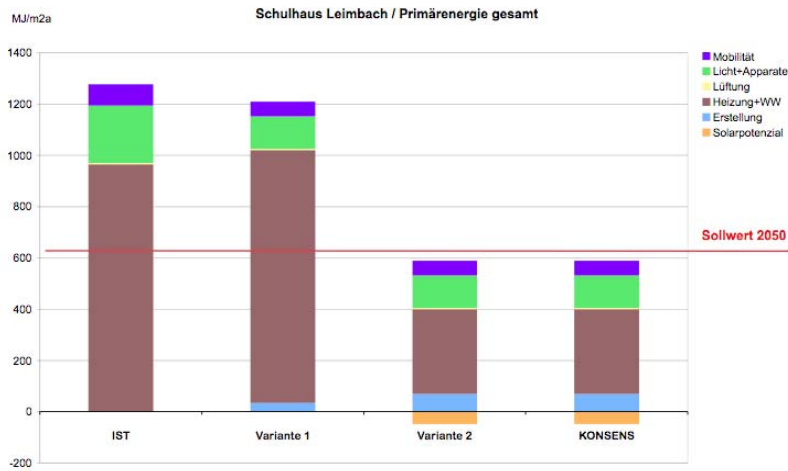
Schrägdach, Estrichboden und Decke gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände gegen Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Keine Solarstromanlage.

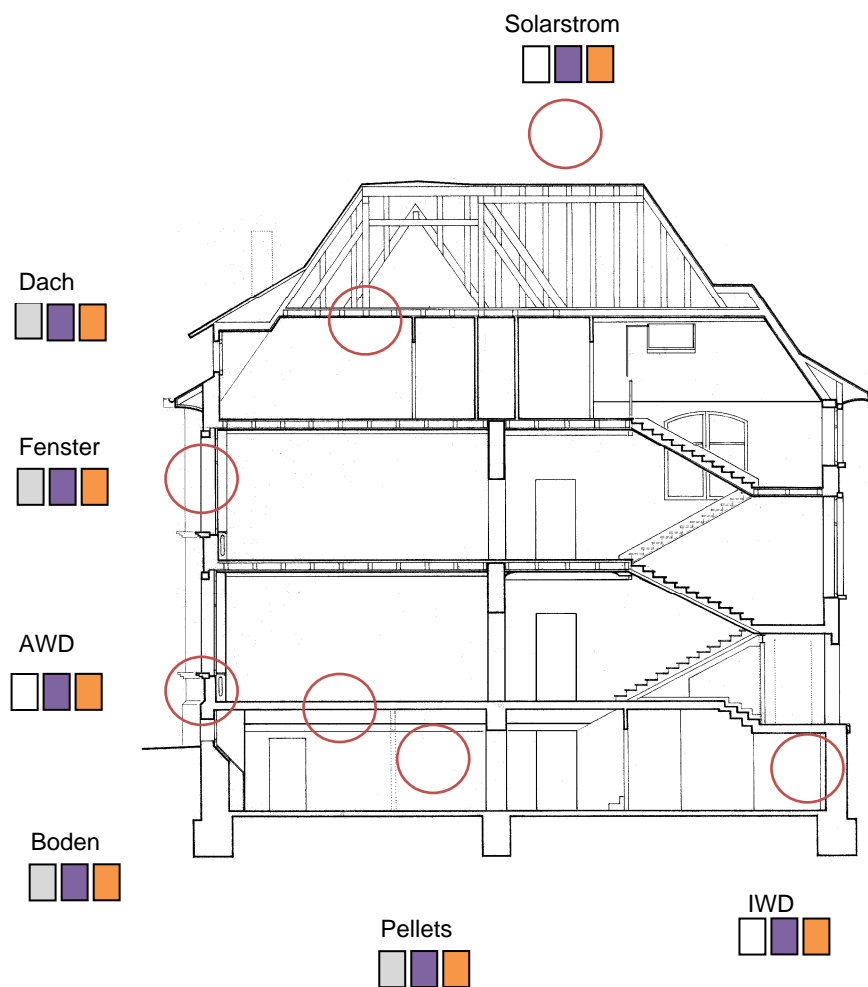
Schulhaus Leimbach

Baujahr 1900. Energiebezugsfläche: 1'040 m². Gebäudehüllfaktor: 1.38.
Denkmalpflege: Kein Schutzzumfang.



Schnitt Schulhaus Leimbach

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 669 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 532 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Schrägdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Variante 2

Heizwärmebedarf: 156 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

Schrägdach und Boden gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände gegen Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Solarstromanlage auf Dächern.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 156 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

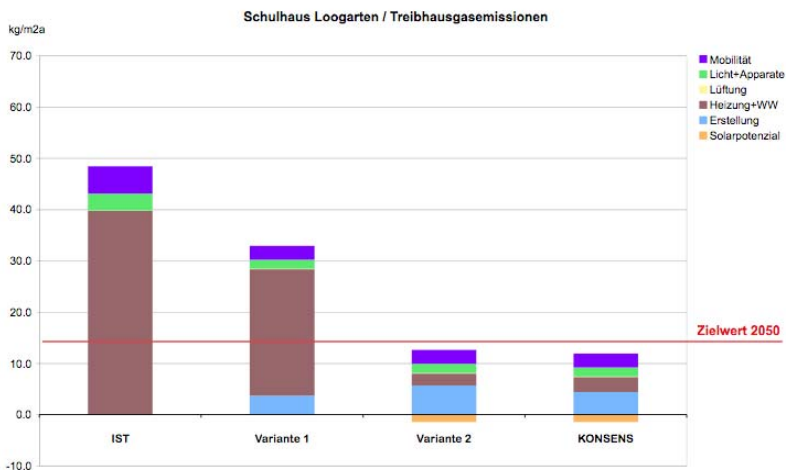
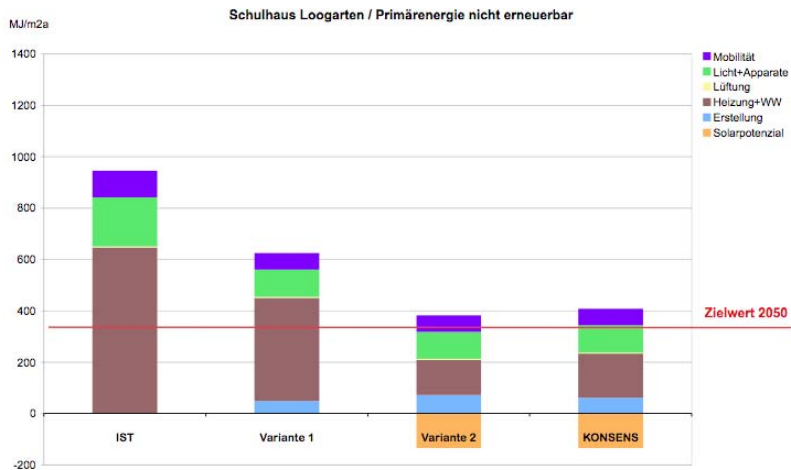
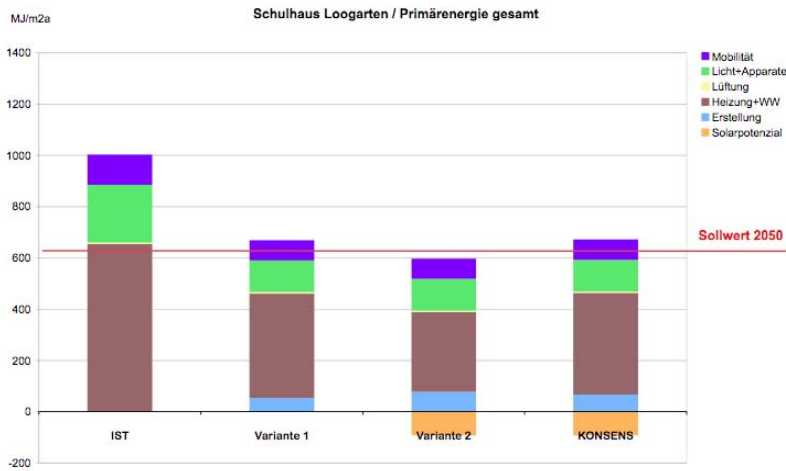
Schrägdach und Boden gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände gegen Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Solarstromanlage auf Dächern.

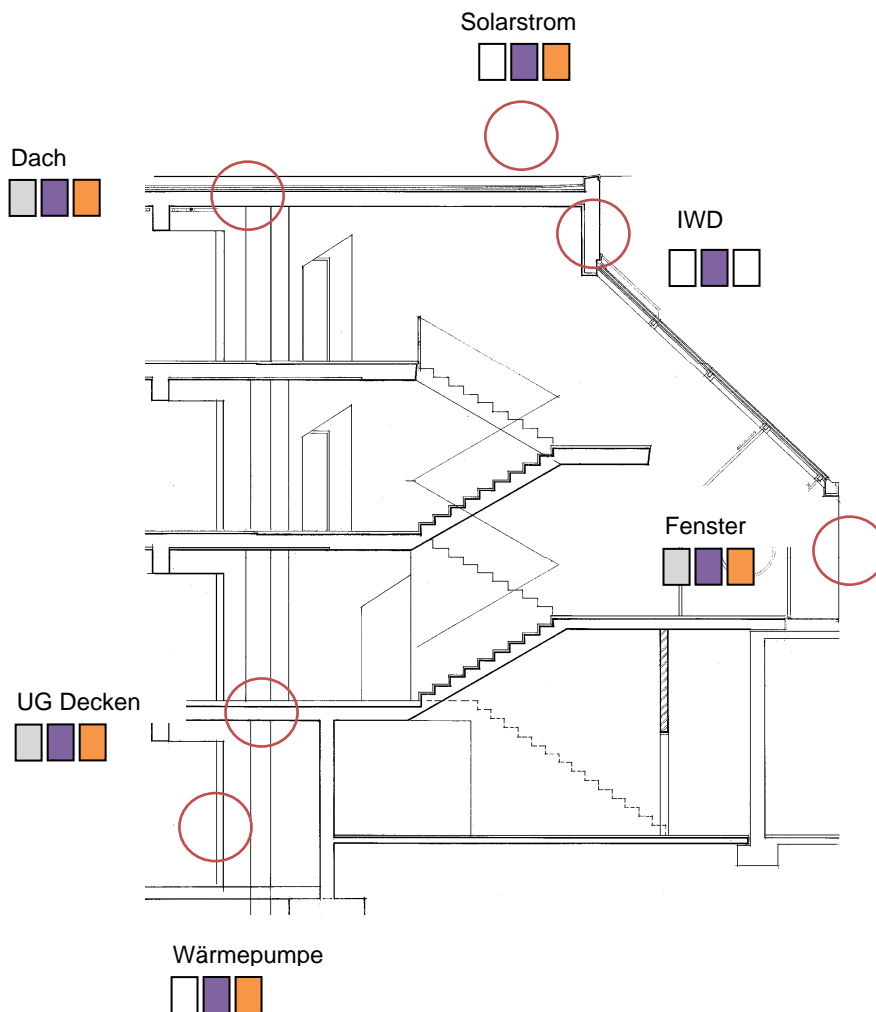
Schulhaus Loogarten

Baujahr 1969. Energiebezugsfläche: 1'310 m². Gebäudehüllfaktor: 1.30.
Denkmalpflege: Schutzzumfang Kunst am Bau - Fassaden.



Schnitt Schulhaus Loogarten

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 441 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 264 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Flachdach und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger Bestand: Gas

Variante 2

Heizwärmebedarf: 175 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände (Sichtbeton) mit Innenwärmedämmung.

Flachdach und Boden gegen unbeheizt und gegen aussen gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Solarstromanlage auf Flachdach.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 233 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände ungedämmt.

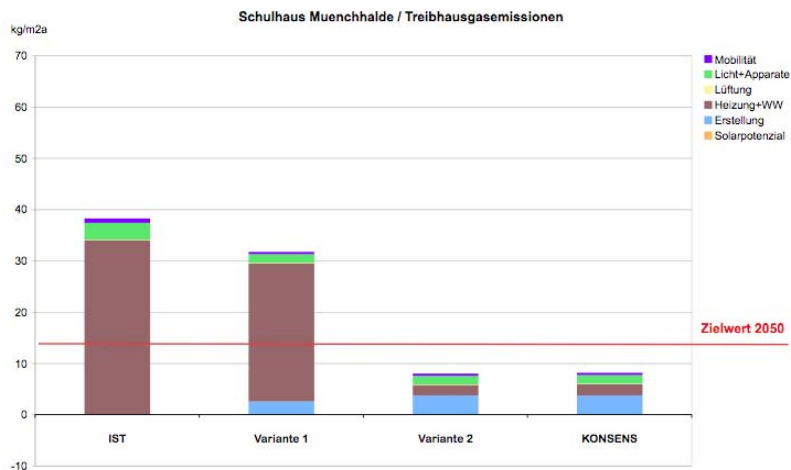
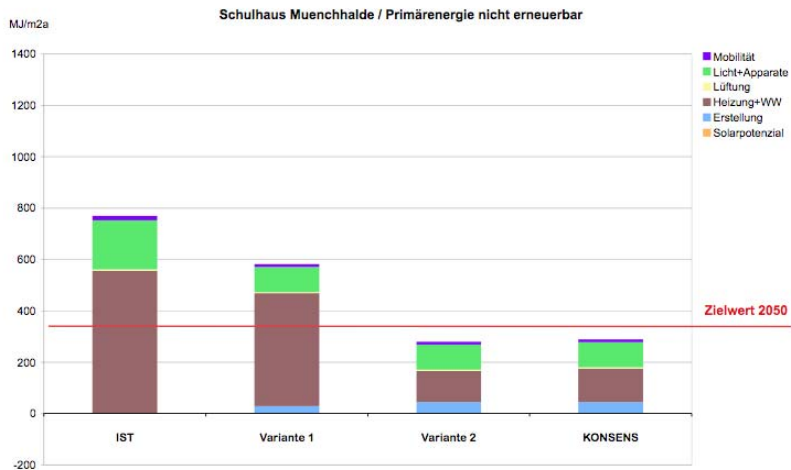
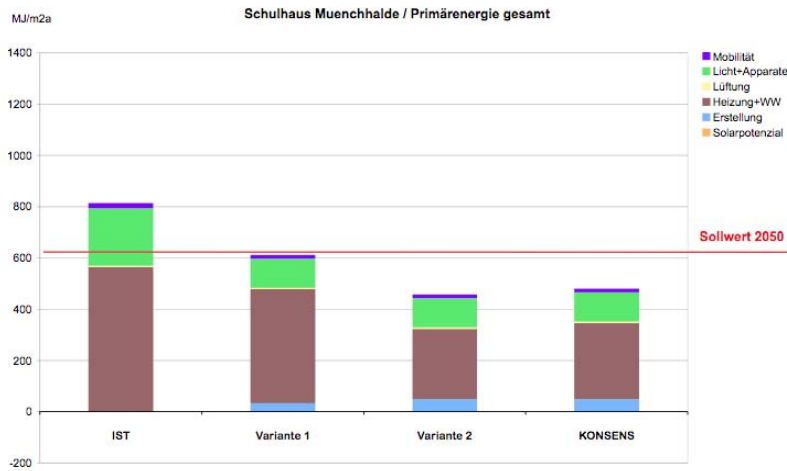
Flachdach und Boden gegen unbeheizt und gegen aussen gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Solarstromanlage auf Flachdach.

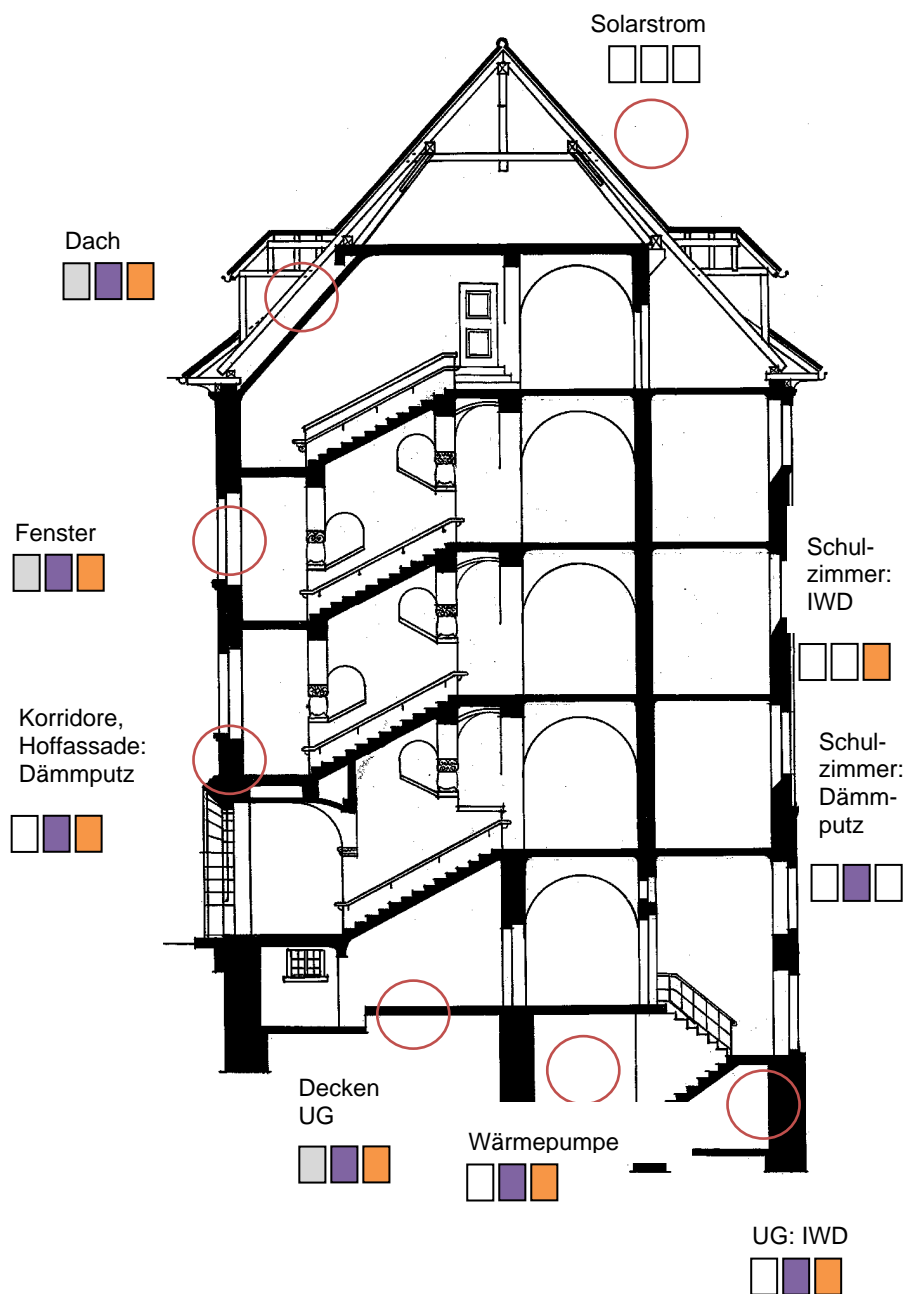
Schulhaus Münchhalde

Baujahr 1910. Energiebezugsfläche: 6'188 m². Gebäudehüllfaktor: 0.84 (ohne Turnhalle).
Denkmalpflege: Schutzzumfang Fassaden, Korridore, Treppenhausbereich.



Schnitt Schulhaus Münchhalde

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 374 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Öl

Variante 1

Heizwärmebedarf: 292 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Schrägdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger Bestand: Öl

Variante 2

Heizwärmebedarf: 151 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit Dämmputz.

Schrägdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände gegen Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Keine Solarstromanlage.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 166 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit Dämmputz bei Korridoren und auf Hoffassaden, Innenwärmedämmung bei Schulzimmern.

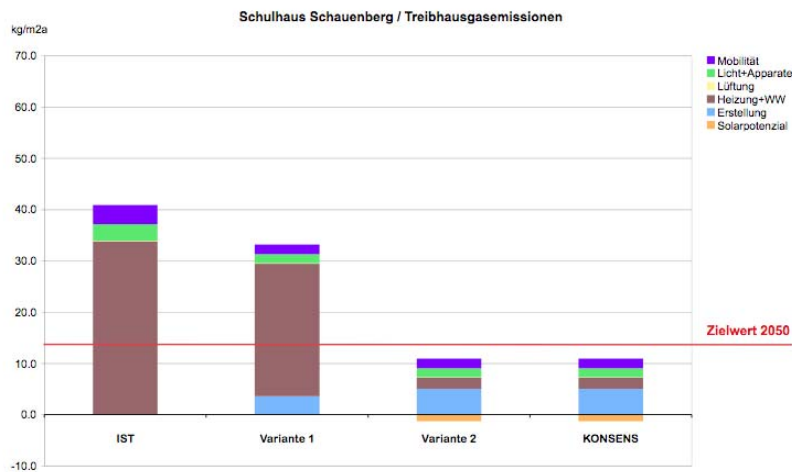
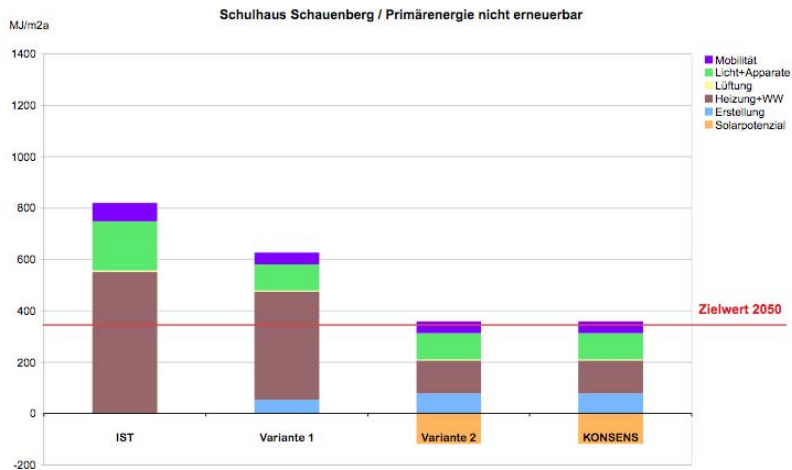
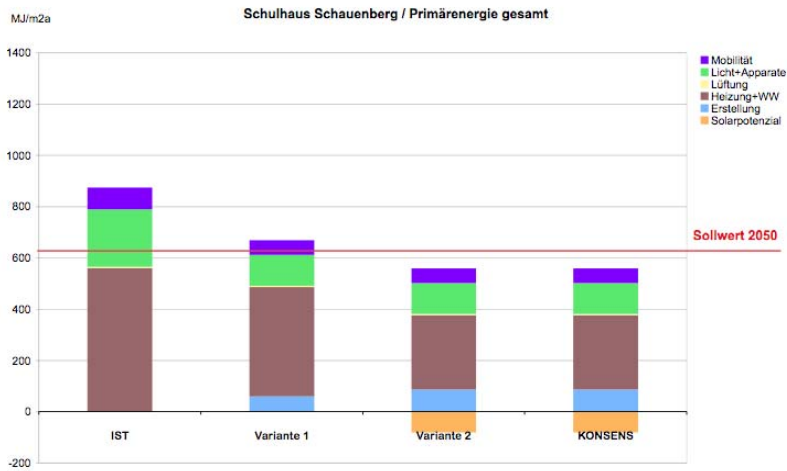
Schrägdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt. Boden und Wände gegen Erdreich innen gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Keine Solarstromanlage.

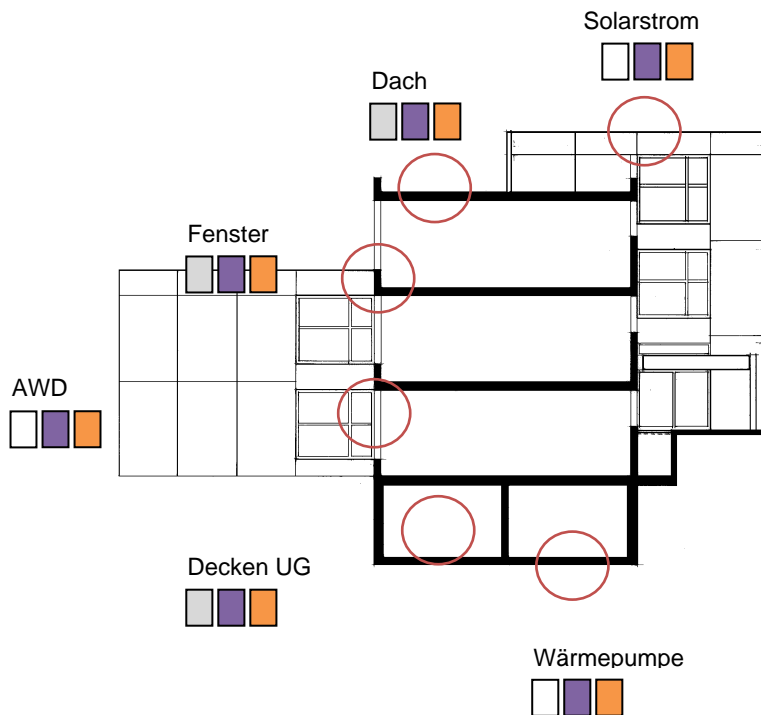
Schulhaus Schauenberg

Baujahr 19??. Energiebezugsfläche: 2'001 m². Gebäudehüllfaktor: 1.58.
Denkmalpflege: Kein Schutzzumfang.



Schnitt Schulhaus Schauenberg

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 371 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Öl

Variante 1

Heizwärmebedarf: 278 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Flachdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger Bestand: Öl

Variante 2

Heizwärmebedarf: 161 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

Flachdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Solarstromanlage auf Flachdach.

KONSENS

Heizwärmebedarf: 161 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

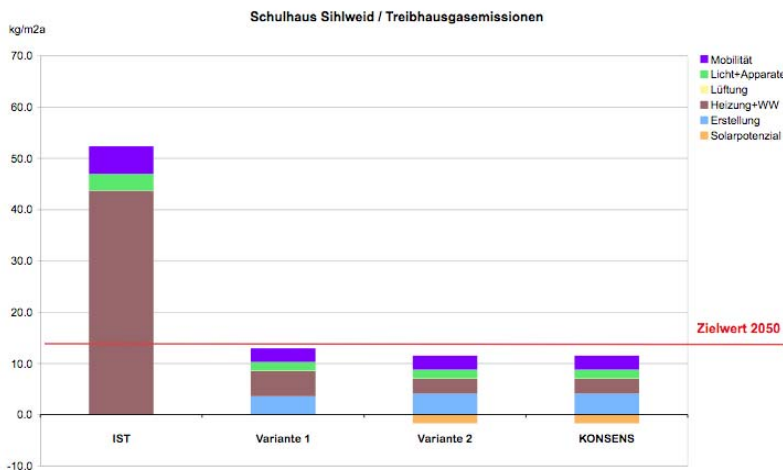
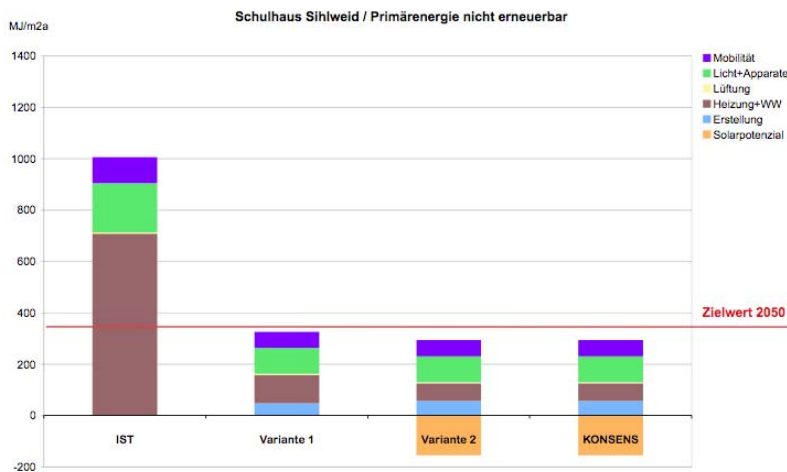
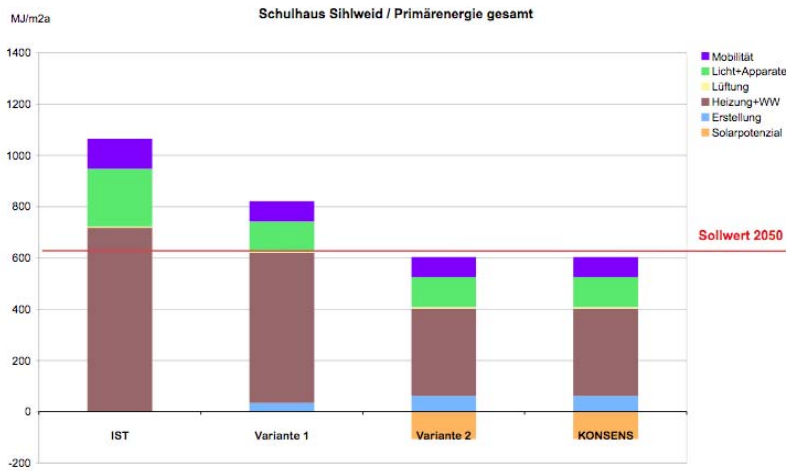
Flachdach, Estrichboden und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger neu: Wärmepumpe mit Erdsonde

Solarstromanlage auf Flachdach.

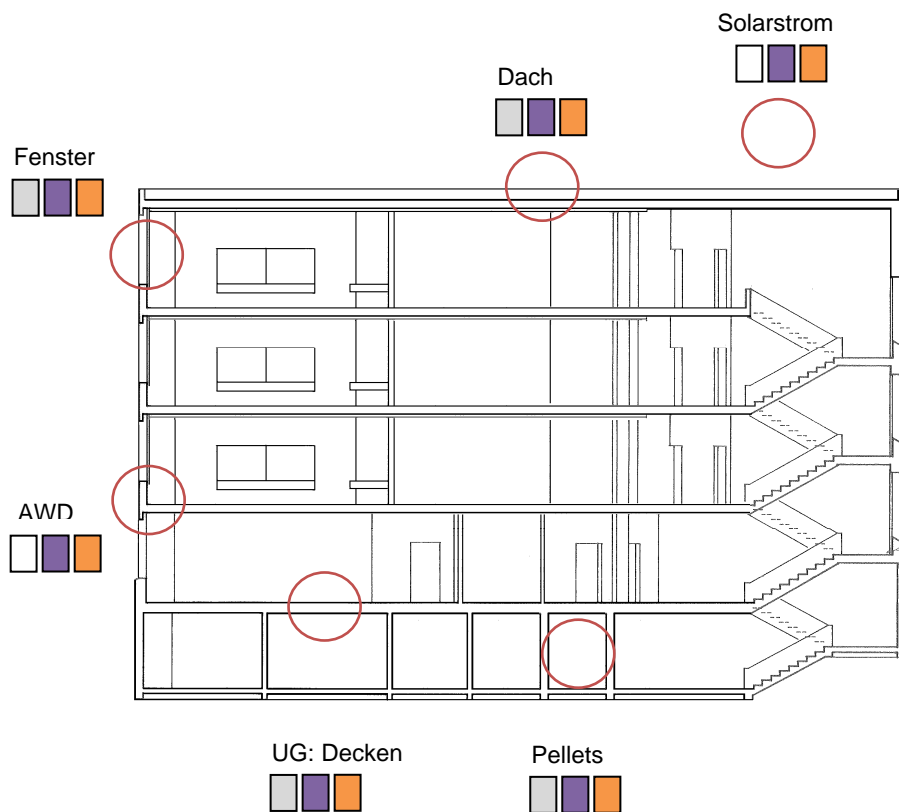
Schulhaus Sihlweid

Baujahr 1973. Energiebezugsfläche: 2'656 m². Gebäudehüllfaktor: 1.30.
Denkmalpflege: Kein Schutzzumfang.



Schnitt Schulhaus Sihlweid

(ohne Massstab)



IST-Zustand

Heizwärmebedarf: 487 MJ/m²a

Energieträger Bestand: Gas

Variante 1

Heizwärmebedarf: 302 MJ/m²a

Fenster neu mit 2-IV

Flachdach und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Variante 2

Heizwärmebedarf: 162 MJ/m²a

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

Flachdach und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Solarstromanlage auf Flachdach.

KONSENS

Fenster neu mit 3-IV

Aussenwände mit verputzter Aussenwärmedämmung.

Flachdach und Boden gegen unbeheizt gedämmt.

Energieträger neu: Pellets

Solarstromanlage auf Flachdach.

8.2 Gegenüberstellung Messdaten, Standarddaten für den Ist-Zustand

Die folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der gemessenen Stammdaten für den Ist-Zustand [6] mit den für die Berechnung eingesetzten Resultaten nach SIA 380/1 und Standardannahmen. Die Messdaten sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet: klare Abgrenzungen der Energieverbräuche, wie sie für Berechnungen nach SIA 380/1 gemacht werden können, sind bei den gemessenen Daten nicht möglich. Weitere Verbraucher, wie beispielsweise angegliederte Wohnbauten oder Schwimmbäder und Quartierzentren verfälschen die Zahlen zwangsläufig.

| Schulhaus | Wärmebedarf Heizung und Warmwasser | | | Elektrizitätsverbrauch für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen | | |
|---------------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|
| | Stammdaten [MJ/m ² a] | Berechnung nach SIA 380/1 [MJ/m ² a] | Abweichung in % (Berechnung = 100%) | Stammdaten [MJ/m ² a] | Standardannahmen nach SIA 380/4 [MJ/m ² a] | Abweichung in % (Standardannahmen = 100%) |
| Asper | 436 | 616 | 71% | 30 | 85 | 35% |
| Borrweg | 930* | 494 | 188% | 44 | 85 | 52% |
| Hofacker | 744 | 585 | 127% | 76 | 85 | 89% |
| Kern | 780 | 530 | 147% | 61 | 85 | 72% |
| Kornhaus | 396 | 748 | 53% | 65 | 85 | 76% |
| Lavater | 495 | 520 | 95% | 75 | 85 | 88% |
| Leimbach | 575 | 697 | 82% | 92 | 85 | 108% |
| Loogarten | 698 | 451 | 155% | 62 | 85 | 73% |
| Münchhalde | 333 | 384 | 87% | 65 | 85 | 76% |
| Schauenberg | 824 | 381 | 216% | 189 | 85 | 222% |
| Sihlweid | 522 | 497 | 105% | 75 | 85 | 88% |
| Ø Vergleich** | 553 | 537 | 103% | 76 | 85 | 89% |

* Bei den Stammdaten Wärmebedarf im Schulhaus Borrweg ist der Verbrauch des angegliederten Schwimmbads eingerechnet.

** Bei der Berechnung des durchschnittlichen Wärmebedarfs gemäss Stammdaten wurden die beiden Schulhäuser Borrweg und Schauenberg als extreme Ausreisser ausgeklammert.

8.3 Eingesetzte Defaultwerte für die Sanierungsvarianten

Zuverlässige Werte für den Energieverbrauch von Schulhausbauten nach Verwendungszweck fehlen weitgehend. Für die Berechnungen wurden Default-Werte eingesetzt. Sie orientieren sich an Publikationen des SIA. Wo Erfahrungswerte aus dem Amt für Hochbauten vorhanden sind, wurden diese durch die Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik eingearbeitet und als Default-Werte eingesetzt, in Abweichung von den Referenz-Werten des SIA.

| | Eingesetzte Defaultwerte [MJ/m ² a] | | | Referenz [MJ/m ² a] |
|-----------------------|---|------------|------------|-----------------------------------|
| | Ist-Zustand | Variante 1 | Variante 2 | |
| Warmwasserbedarf | 25 | 25 | 25 | 25 (*) |
| Hilfsenergie | 7.6 | 5 | 5 | 3 (**) |
| Lüftung (***) | 1.8 | 1.8 (***) | 1.8 (***) | 6 (**) |
| Beleuchtung | 57.6 | 28.8 | 28.8 | 26 (**) |
| Betriebseinrichtungen | 18 | 9 | 9 | 9 (**) |

* gemäss SIA 380/1 (2009), Gebäudekategorie Schulen

** gemäss SIA MB2040 SIA Effizienzpfad Energie (Vernehmlassungsexemplar)

*** Es wurden in allen Varianten der Instandsetzungen nur einfache Abluftanlagen gerechnet (vgl. dazu Kapitel 6.3, Abschnitt *Lüftung*). Bei Ersatzneubauten wurde eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung gerechnet. Hier wurde der Referenzwert eingesetzt.

8.4 Effektive Belegungsdichten bei den untersuchten Schulhäusern und durchschnittliche Belegungsdichten von Schulhäusern in der Schweiz

| Schulhaus | Energiebezugsfläche (inkl. Turnhallen) [m ² EBF] | Anzahl Schüler | Anzahl Kindergärtner | EBF/Schüler [m ² /Person] |
|------------------------------|---|-------------------|-------------------------|---|
| Asper | 5'858 | 167 | 0 | 35 |
| Borrweg | 1'615 | 141 | 0 | 11 |
| Hofacker | 4'665 | 268 | 65 | 14 |
| Kern | 5'226 | 54 | 0 | 97**** |
| Kornhaus | 2'821 | 159 | 46 | 14 |
| Lavater | 3'583 | 140 | 0 | 26 |
| Leimbach | 1'314 | 143 | 51 | 7 |
| Loogarten | 1'310 | 112 | 68 | 7 |
| Münchhalde | 6'579 | 112 | 17 | 51 |
| Schauenberg | 2'307 | 235 | 63 | 8 |
| Sihlweid | 2'656 | 186 | 53 | 11 |
| Ø der 11 Schulbauten | | 156 | 33 | 26 |
| Ø gesamtschweizerisch | | | | 24 |

**** wurde bei der Datenerhebung nur teilweise durch Schule genutzt (gemäss Strategie), kein Schulunterricht

8.5 Primärenergiefaktoren und Treibhausgaskoeffizienten für Elektrizität und Fernwärme

| | Primärenergiefaktor gesamt [-] | Primärenergiefaktor nicht erneuerbar [-] | Treibhausgasemi- sionskoeffizient [kg/MJ] |
|---|--------------------------------------|--|---|
| Elektrizität | | | |
| CH-Verbrauchermix | 2.97 | 2.53 | 0.043 |
| Verwaltung Stadt Zürich naturemade star* [10] | 1.97 | 1.17 | 0.022 |
| Verwaltung Stadt Zürich effektiv [10] * | 1.15 | 0.05 | 0.004 |
| Energiekonzept 2050 Stadt Zürich [11] | 1.28 | 0.07 | 0.006 |
| Fernwärme | | | |
| Fernwärme mit Nutzung Kehrlichtwärme | 0.81 | 0.80 | 0.045 |
| Fernwärme Stadt Zürich** | 0.60 | 0.44 | 0.031 |
| Energiekonzept 2050 Stadt Zürich [11] | 0.66 | 0.45 | 0.032 |

* SIA 2040, Abschnitt 2.3.1.4

** unter Berücksichtigung Holzheizkraftwerk Aubrugg

8.6 Literaturverzeichnis

- [1] SIA Merkblatt 2040 *SIA-Effizienzpfad Energie*, Zürich, Juni 2011
- [2] *Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft*, Gemeinschaftsprojekt der Stadt Zürich, Bundesamt für Energie, EnergieSchweiz für Gemeinden und Novatlantis, 2010
- [3] SIA Merkblatt 2032 *Graue Energie von Gebäuden*, 2009
- [4] Erhebungen des Amts für Hochbauten
- [5] SIA Merkblatt 2039 *Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort*, Dezember 2010
- [6] Stammdaten erhoben durch die Immobilien-Bewirtschaftung der Stadt Zürich im März 2010
- [7] *Instandsetzungen - Das Potential liegt im Bestand*, Stadt Zürich, Hochbaudepartement, November 2009
- [8] Präsentationsfolien der Projektvorstellung im Stadtrat vom 21.1. 2010
- [9] *Verfahrenshandbuch für allgemeine Hochbauvorhaben der Stadt Zürich*, Stadt Zürich, Oktober 2008 (www.stadt-zuerich.ch/internet/zuerichbaut)
- [10] *Elektrizitätswerk, Bezug von Ökostrom durch die Dienstabteilungen der Stadt Zürich*, Stadtratsbeschluss 1444 vom 4. November 2009
- [11] *2000-Watt-Gesellschaftstaugliches Energiekonzept für die Stadt Zürich*, Stadt Zürich, Entwurf März 2011
- [12] *Schulhäuser der Stadt Zürich, Spezialinventar Archäologie und Denkmalpflege*, Stadt Zürich, Hochbaudepartement, September 2008
- [13] SIA Dokumentation D 0236 *SIA-Effizienzpfad Energie*, Zürich, Entwurf
- [14] Übersicht Masterplan Energie (Stand Entwurf 6. Blocksitzung vom 31.05.2011)