



Grundlagen zu einem
Suffizienzpfad Energie
für **Schulbauten**

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

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

Auftragnehmende:

Architekturbüro Preisig Pfäffli
Katrin Pfäffli
Schaffhauserstrasse 21, 8006 Zürich
pfaeffli@hansruedipreisig.ch

Projektteam Stadt Zürich:

Annette Aumann, Amt für Hochbauten (Projektleitung)
Christine Bächtiger, Umwelt- und Gesundheitsschutz
Heinrich Gugerli, Amt für Hochbauten
Marcel Handler, Schulamt
Gitt Tänzler, Immobilien-Bewirtschaftung
Franz Sprecher, Amt für Hochbauten
Barbara Willimann, Schulamt

Begleitgruppe / Fachberatung:

Ralf Aregger, Immobilien-Bewirtschaftung
Rahel Gessler, Umwelt- und Gesundheitsschutz
Barbara Luchsinger, Immobilien-Bewirtschaftung
Toni Püntener, Umwelt- und Gesundheitsschutz
Markus Simon, Amt für Hochbauten

Finanzierung:

Studienprogramm 7 Meilenschritte

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

Zürich, Februar 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Grundlagen	7
2.1	Ausgangslage	7
2.2	Ziele und Bedürfnisse	7
2.3	Definition der Begriffe Suffizienz, Effizienz und Konsistenz	7
2.4	Methodik.....	8
2.5	Zum Aufbau dieser Studie	11
2.6	Beispiel Stadt Zürich: Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft	12
3	Einflusspotenzial Personenfläche	13
3.1	Statistische Daten zum Flächenbedarf	13
3.2	Personenbezogene und flächenbezogene Zielwerte.....	13
3.3	Auswirkungen auf die drei Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität	14
3.4	Fazit zu variabler Personenfläche.....	18
3.5	Beispiel Stadt Zürich: Flächenbedarf in den Schulen	22
4	Einflusspotenzial Betriebszeiten / Auslastung	27
4.1	Statistische Daten zu den Nutzungszeiten	27
4.2	Auswirkungen variabler Betriebszeiten.....	27
4.3	Fazit zur Einflussgrösse Betriebszeiten / Auslastung	28
4.4	Beispiel Stadt Zürich: Betriebszeiten / Auslastung in Schulen	30
5	Einflusspotenzial Nutzerverhalten.....	32
5.1	Statistische Daten zum Nutzerverhalten.....	32
5.2	Auswirkungen des Nutzerverhaltens pro Verwendungszweck.....	32
5.3	Fazit zur Einflussgrösse Nutzerverhalten im Betrieb	36
5.4	Beispiel Stadt Zürich: Nutzerverhalten im Schulbetrieb.....	38
6	Einflusspotenzial Mobilität.....	40
6.1	Statistische Daten zum Nutzerverhalten.....	40
6.2	Mobilitätsverhalten	40
6.3	Fazit zur Einflussgrösse Nutzerverhalten Mobilität.....	41
6.4	Beispiel Stadt Zürich: Mobilitätsenergie bei Schulen.....	42
7	Einsparpotenzial durch Suffizienz.....	43
7.1	Das Potenzial von Suffizienz und dessen Gegenteil	43
7.2	Das Einflusspotenzial nach Akteuren	44
7.3	Beispiel Stadt Zürich: Einsparpotenzial durch Suffizienz	45
8	Empfehlungen	46
8.1	Allgemeine Empfehlungen für Schulbauten.....	46
8.2	Ergänzende Empfehlungen für die Schulbauten der Stadt Zürich	48
9	Literatur- und Quellenverzeichnis	50

1 Zusammenfassung

Um das Etappenziel der 2000-Watt-Gesellschaft bis ins Jahr 2050 erreichen zu können, sind grosse Anstrengungen im Bereich der Energie-Effizienz, des Einsatzes erneuerbarer Energieträger und des Schliessens von Stoffkreisläufen nötig. Suffizienz, also eine Reduktion der Nachfrage nach energierelevanten Gütern und Dienstleistungen, kann die Zielerreichung wesentlich unterstützen. Sollte sich im Gegenteil die Nachfrage weiter erhöhen, so wird die Zielerreichung dadurch ernsthaft gefährdet.

In dieser Studie sollen für Volksschulen die relevanten Einflussgrössen von Suffizienz auf die Zielerreichung der 2000-Watt-Gesellschaft identifiziert und deren Potenzial bezüglich Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen quantifiziert werden. Es sollen Aussagen zu den Chancen und Risiken zukünftiger Entwicklungen im Schulbereich erarbeitet werden, welche die energetische Zielerreichung in relevanter Weise unterstützen oder gefährden können.

Vier relevante Einflussgrössen wurden erkannt und genauer untersucht:

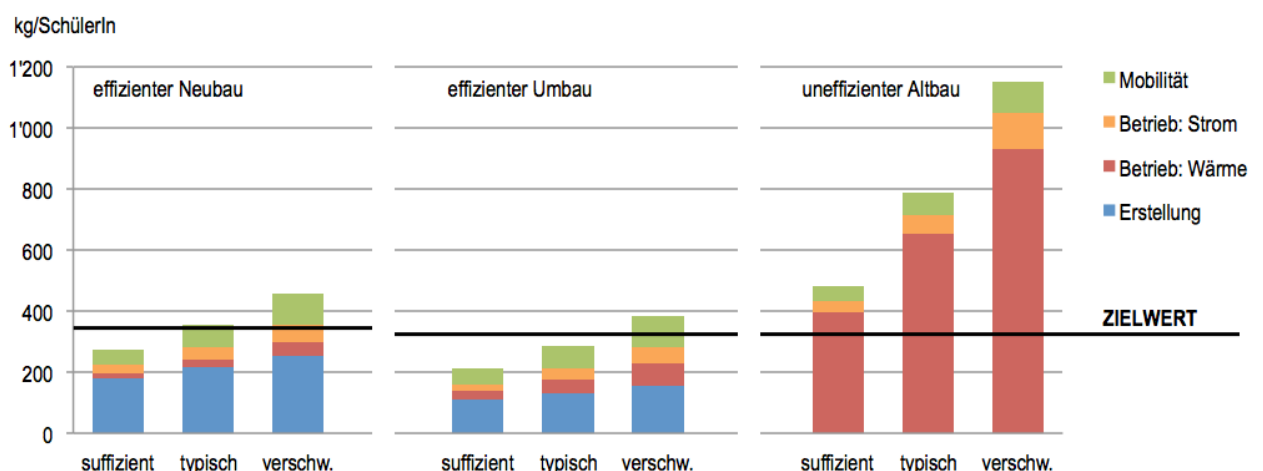
- Der Flächenbedarf pro Kopf, die sogenannte Personenfläche.
- Die Betriebszeiten, in denen Schulräume konditioniert werden und in Bereitschaft stehen.
- Das Nutzerverhalten der Lehrpersonen und Lernenden im Betrieb.
- Das Nutzerverhalten im Bereich Mobilität.

Erfahrungen aus dem Betrieb der rund 120 Volksschulhäuser der Stadt Zürich dienen dazu, eine sinnvolle und realitätsnahe Variabilität im Nutzerverhalten zu definieren. In den farbig hinterlegten Seiten dieses Berichts ist jeweils die spezifische Situation in der Stadt Zürich konkretisiert.

Auswirkungen von Suffizienz und Verschwendung

Als «typisch» wird in dieser Studie ein durchschnittliches oder in Normen als Standard definiertes Verhalten bezeichnet. Als «suffizient» wird ein Verhalten bezeichnet, das zu einem geringeren Bedarf an Energie und weniger Treibhausgasemissionen führt, «verschwenderisches» Verhalten führt zu einem grösseren Energiebedarf und mehr Emissionen. Der Grad der Abweichung von einem als «typisch» bezeichneten Verhalten wurde in Szenarien konkret umschrieben.

Tabelle 1: Auswirkungen der Szenarien «typisch», «suffizient» und «verschwenderisch» auf die jährlichen Treibhausgasemissionen.



Wird in allen genannten vier Einflussbereichen «suffizient» gehandelt, so lassen sich der Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen bei effizienten Neubau- und Umbauten Einspa-

rungen von 25-30% gegenüber einer typischen Nutzung erzielen. Bei nicht energieeffizienten Altbauten ist sogar eine Reduktion um 40% realisierbar.

Noch grösser ist der Effekt beim Szenario «Verschwendung». Bei effizienten Neu- und Umbauten ist mit einer Erhöhung der Primärenergie und Treibhausgasemissionen um 30% zu rechnen, bei Altbauten erhöhen sich die Emissionen und der Primärenergieverbrauch um rund 50%.

Folgende Erkenntnisse lassen sich zum Potenzial von Suffizienz zusammenfassen:

Einflusspotenzial Personenfläche

Der Flächenbedarf pro Person ist für Schulbauten eine sehr relevante Einflussgrösse, um den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen zu senken oder zu erhöhen. Mit einer Reduktion um 20% der Fläche pro Schüler und Schülerin lassen sich 13% des Energieverbrauchs und der Emissionen einsparen – umgekehrt führt ein höherer Flächenbedarf zum entsprechenden Mehrverbrauch. Der Schul- und Bildungsbereich ist einem steten Wandel unterworfen, neue Unterrichtsformen und neue Aufgabenbereiche erweitern und verändern nicht nur die Anforderungen an die Lehrpersonen sondern haben auch Auswirkungen auf den Flächenbedarf und die Anforderungen an die Ausstattung und Nutzung von Schulgebäuden. Eine Mehrfachnutzung von Räumen und ein Augenmerk auf die Flächeneffizienz kann diese Entwicklung in positiver Weise beeinflussen. Gefragt ist ein entsprechendes Engagement beim Bau und Umbau von Schulbauten durch die Bauherrschaft und Betreiber. Die Umsetzung durch betriebliche und organisatorische Massnahmen gelingt nur in enger Zusammenarbeit mit Fachpersonen aus dem Schulbereich.

Einflusspotenzial Betriebszeiten und Auslastung

Die Stunden im Jahresverlauf, in welchen Schulhäuser ihrer Bestimmung entsprechend genutzt werden, entsprechen rund einem Viertel der gesamten Jahresstunden. Dazu kommt eine nicht unbedeutende Anzahl Stunden, in denen Schulbauten ausserhalb der eigentlichen Unterrichtszeit genutzt werden. Insbesondere bei energetisch nicht sanierten Altbauten, aber auch bei energieeffizienten Gebäuden hat eine Temperatursenkung in der unterrichtsfreien Zeit ein erstaunlich hohes Potenzial. Wird in den Ferien und an den Wochenenden die Raumtemperatur gesenkt, lässt sich ein Viertel der Heizenergie einsparen. In einer Studie der Stadt Zürich an 30 städtischen Schulbauten hat sich gezeigt, dass mehr als die Hälfte des Stromverbrauchs ausserhalb der Nutzungszeit anfällt. Dieser Energieverbrauch aus dem «Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit» könnte mit technischen Massnahmen gesenkt werden. Während bei effizienten Neu- und Umbauten eine eingeschränkte Betriebszeit zu Reduktionen von maximal 10% führt, ist die Einsparung bei uneffizienten Altbauten aufgrund ihres hohen Heizwärmebedarfs mit 20% sehr bedeutend. Ein auf die effektiven Nutzungszeiten optimierter Betrieb ist deshalb insbesondere bei energetisch nicht sanierten Altbauten in der Heizperiode angezeigt. Die Öffnung von Schulräumen für andere Zielgruppen an Wochenenden und in der Ferienzeit ist in den Wintermonaten wo möglich in energieeffizienten Schulgebäuden zu konzentrieren. Eine optimierte Auslastung der Schulgebäude im Tages- und Jahresverlauf ist eine interessante Option, die sowieso anfallende Betriebsenergie sinnvoll zu nutzen. Trotzdem soll bei Neubauten und Gesamtinstandsetzungen auf eine Unterteilung in Nutzungs-Sektoren, welche unabhängig betrieben werden können und damit unterschiedliche Betriebszeiten zulassen, geachtet werden. Auch hier sind die Bauherrschaft und die Betreiber von Schulanlagen die wichtigsten Akteure bei der Umsetzung.

Einflusspotenzial Nutzerverhalten im Betrieb








Das Nutzerverhalten im Betrieb hat in den gewählten Szenarien ein vergleichsweise geringeres Potenzial im Bereich Suffizienz. Verschwenderisches Verhalten kann aber zu einem markanten Mehrverbrauch führen. Vieles wird in energieeffizienten Schulbauten technisch gelöst (Beleuchtung über Bewegungsmelder, Abschalten von Geräten zeitgesteuert, Lüftung kontrolliert). Damit kann vor allem verschwenderisches Verhalten verhindert werden. Während das Suffizienz-Potenzial in der Grössenordnung von 3-8% liegt, führt verschwenderisches Verhalten zu einem Mehrverbrauch von bis zu 18% bei effizienten Neu- und Umbauten und mehr als 30% bei nicht

effizienten Altbauten. In Altbauten und nicht mit Steuerungssystem ausgerüsteten Schulhäusern ist eine Sensibilisierung der Schülerinnen und Schüler und auch der Lehrpersonen besonders wertvoll. Sie sind die wichtigsten Akteure, bei der Umsetzung dieses Suffizienzpotenzials.

Einflusspotenzial Nutzerverhalten in der Mobilität

Energierrelevante Mobilität wird zum grössten Teil von Lehrpersonen und in den Schulhäusern Beschäftigten ausgelöst und nur zu einem geringen Teil durch die Schülerinnen und Schüler. Auch hier besteht ein Suffizienzpotenzial: Im gewählten Szenario (Schulhaus in einer mit dem öffentlichen Verkehr gut erschlossenen Kernzone) liegt über alle Bereiche gesehen in der Gröszenordnung von 5%. Und auch hier ist der Mehrverbrauch aufgrund eines verschwenderischen Verhaltens grösser als die Einsparungen aufgrund eines suffizienten Verhaltens: Mit rund 10% mehr Energie und Emissionen ist gemäss den hier gewählten Annahmen zu rechnen. Entscheidende Einflussmöglichkeiten bestehen darin, Parkplätze zu bewirtschaften, «Taxi-Fahrten» von Eltern, die ihre Kinder in die Schule bringen, zu reduzieren und für attraktive und sichere Wege zu Schulhäusern zu sorgen, die mit dem Langsamverkehr (also zu Fuss und mit dem Fahrrad) einfach zu erreichen sind. Die Akteure sind Behörden, welche über die Standorte von Schulanlagen entscheiden und die Parkplatzverordnung formulieren beziehungsweise interpretieren, Bauherrschaften und insbesondere auch die Betreiber, welche ein entsprechendes Parkplatzmanagement durchsetzen und Alternativen anbieten.

Figur 2: Einsparpotenziale durch Suffizienz nach Akteuren. Die %-Angaben beziehen sich auf Einsparungen im gewählten Szenario «suffizient» im Vergleich zum Szenario «typisch».

<p>Einsparungen durch moderate Suffizienz nach Akteuren</p> <p>100% = Summe der Primärenergie und Treibhausgasemissionen aus Erstellung, Betrieb und Mobilität</p>	 Flächenbedarf pro Person	 Betriebszeiten / Auslastung	 Nutzerverhalten	 Mobilität
 Erstausstattung Bauherrschaft	<p>Einsparung durch 20% Reduktion Standardpersonenfläche (z.B. Anpassung von Raumprogrammen oder durch Mehrfachnutzung von Räumen):</p> <p>12% bei effiz. Bauten 14% bei Altbauten</p>		<p>Einsparung durch Steuerungen (z.B. für die Beleuchtung, Gerätebetrieb):</p>	<p>Einsparung durch Ausstattung (z.B. sichere Schulwege, reduziertes Parkplatzangebot, Veloabstellplätze):</p> <p>2-5%</p>
 Betrieb Verwaltung		<p>Einsparung durch eingeschränkten Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit (z.B. Temperatursenkung während Ferien und Wochenenden)</p> <p>10% bei effiz. Bauten 20% bei Altbauten</p> <p>Alternativ: bessere Auslastung der Gebäude z.B. durch Drittnutzungen.</p>	<p>2-4% bei vorher nicht gesteuerten Anlagen</p>	
 Nutzerverhalten Schulpersonal, Schüler + Schülerinnen			<p>Einsparung durch Nutzerverhalten (z.B. Lichter löschen, kein Standby, suffiziente Nutzung von IKT):</p> <p>2-4% bei gesteuerten, 3-8% bei nicht gesteuerten Anlagen</p>	

2 Grundlagen

2.1 Ausgangslage

Mit der Studie *Grundlagen für einen Suffizienzpfad Energie - Das Beispiel Wohnen* [1] des Amts für Hochbauten der Stadt Zürich wurde der Einfluss von suffizientem und verschwenderischem Verhalten auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen erstmals für unterschiedliche Nutzungsszenarien quantifiziert. Die Methodik des Merkblatts SIA 2040 *SIA-Effizienzpfad Energie* [2] konnte damit um die Auswirkungen des Nutzerverhaltens erweitert werden. Die Untersuchung konzentrierte sich auf Wohnbauten.

Das Potenzial von Suffizienz soll nun auch für Schulen erfasst und quantifiziert werden. Die vorliegende Studie ist ein Arbeitspaket im Rahmen des vom Schulamt der Stadt Zürich geleiteten Projektes «Flächenmanagement».

2.2 Ziele und Bedürfnisse

Die Studie *Grundlagen für einen Suffizienzpfad Energie – Das Beispiel Wohnen* hat bedeutende Auswirkungen des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch aufzeigen können. Ziel der vorliegenden Studie ist es, dieses Potenzial auch für Schulbauten abzuschätzen. Es sollen konkrete und quantifizierte Aussagen zu den Chancen und Risiken zukünftiger Entwicklungen im Schulbereich erarbeitet werden, welche die energetische Zielerreichung in relevanter Weise unterstützen oder gefährden können. Spezifisches Ziel der Studie ist es, das Potenzial von Suffizienz zur Erreichung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft zu ermitteln.

Selbstverständlich hat Suffizienz aber auch Auswirkungen in den Nachhaltigkeitsbereichen Gesellschaft und Wirtschaft. Die vorliegende Studie beschränkt sich auf die Bereiche Erstellung und Betrieb von Schulanlagen und auf die Alltagsmobilität, welche durch die Nutzung dieser Gebäude ausgelöst wird. Durchaus sinnvolle Potenziale, wie beispielsweise die Beschaffung von regionalen Lebensmitteln in Schulhorten, bleiben damit ausserhalb des Fokus dieser Studie. Der Schul- und Bildungsbereich ist einem steten Wandel unterworfen.

Neue Unterrichtsformen und neue Aufgabenbereiche erweitern und verändern nicht nur die Anforderungen an die Lehrpersonen sondern auch die Anforderungen an Schulhäuser deren Ausstattung und Nutzung. Diese Studie wertet dies nicht, sondern hinterlegt mögliche Entwicklungen mit deren Konsequenzen auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen.

2.3 Definition der Begriffe Suffizienz, Effizienz und Konsistenz

Das Wort Suffizienz hat seinen Ursprung im lateinischen *sufficere* und bedeutet ausreichen, genug sein. Suffizienz fragt also, wie viel genug ist und postuliert gleichzeitig, dass etwas genug sein kann. Sie steht für ein ressourcensparendes Verhalten und Zurückhaltung beim Konsum von Gütern und Dienstleistungen. Suffizienz ist damit nicht durch technische Massnahmen zu erreichen, sondern erfordert ein Umdenken, Verhaltensänderungen beim Individuum sowie allenfalls bewusstes Sparen. Beschränkung bedeutet oft auch einen gewissen Komfortverzicht, wobei das, was unter «Komfort» verstanden wird ebenfalls individuell geprägt und einem Wandel unterworfen ist. Eine Schwierigkeit in diesem Umfeld ist die Tatsache, dass die technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen in der Tendenz ständig neue Bedürfnisse erschliessen und bestehende Bedürfnisse zu Selbstverständlichkeiten werden, welche nicht mehr hinterfragt werden.

Suffizientes Verhalten kann als «Einschränkung» und somit als Verlust empfunden werden. Suffizienz kann aber auch eine willkommene Hilfe sein, um sich auf das Wesentliche zu konzentrieren im Sinne von «weniger ist mehr». Die Autoren einer Publikation des Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie [3] finden denn auch für die Umschreibung von Suffizienz durchaus

positiv konnotierte Begriffe: Sie setzen Suffizienz gleich mit den Begriffen «Entrümpelung», «Entschleunigung», «Entflechtung» und «Entkommerzialisierung».

Typische Handlungsfelder für Suffizienz im Schulhausbereich sind beispielsweise:

- Kleiner Flächenbedarf pro Schüler und Schülerin
- Beschränkte Verfügbarkeit der Räume ausserhalb des Schulbetriebs bzw. gute Auslastung der Räume durch Mehrfachnutzungen
- Gesenkte Komfortansprüche zur Raumlufttemperatur im Winter
- Zurückhaltung bei der Beschaffung und dem Betrieb von Geräten
- Moderate Ausstattung von Schulräumen

Zwischen Suffizienz- und Effizienzmassnahmen gibt es oft einen fließenden Übergang. Effizienzmassnahmen sind tendenziell eher technischer Natur und reduzieren den Energiebedarf, ohne die entsprechende Dienstleistung zu beeinträchtigen und ohne Anspruchshaltungen zu hinterfragen. Massnahmen zu einer verbesserten Energieeffizienz führen oft zu einer Komfortsteigerung.

Beispiele zu Energieeffizienz:

- Gut wärmedämmte Gebäudehülle
- Energieeffiziente Geräte und Anlagen, z.B. Heizung mit gutem Nutzungsgrad
- Energieeffiziente Geräte und Beleuchtung, z.B. energieeffiziente Drucker und Kopierer oder Energiesparlampe und LED statt Glühbirne

Gepaart mit dem Thema der Energieeffizienz sind Massnahmen erforderlich, welche auf die Nutzung erneuerbarer Energien und nachwachsender Rohstoffe sowie das Schliessen der Stoffkreisläufe zielen (Konsistenz).

Beispiele zu Konsistenz:

- Einsatz erneuerbarer Energieträger im Wärmebereich (z.B. Biogas, Holz, Umweltwärme) und bei der Elektrizität (z.B. Wasserkraft, Solar- und Windstrom)
- Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Baumaterial, z.B. Holz
- Schliessen von Stoffkreisläufen durch Wiederverwendung von Bauteilen oder Nutzung von Sekundärrohstoffen, z.B. Recyclingbeton

2.4 Methodik

Die vorliegende Studie klärt und quantifiziert das Potenzial von Suffizienz in den Bereichen Erstellung (Graue Energie), Betrieb (Wärme, Lüftung, Beleuchtung, Betriebseinrichtungen) und standortabhängige Alltagsmobilität.

2.4.1 Grundlage SIA-Effizienzpfad Energie

Die methodische Grundlage bildet eine gesamtenergetische Betrachtung, wie sie im Rahmen des Merkblatts SIA 2040 *SIA-Effizienzpfads Energie* [2] erarbeitet wurde und welche auch den methodischen Zusammenhang zur 2000-Watt-Gesellschaft herstellt. Entscheidende Grössen bilden der Primärenergieverbrauch und die klimarelevanten Treibhausgasemissionen.

Primärenergie beinhaltet die Energie für die Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse von Gütern, Baustoffen oder Energieträgern, den vorgelagerten Rohstoffabbau wie auch die nachgelagerten Entsorgung inklusive aller dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel. Die gleiche Sachbilanz wird auch für die Treibhausgasemissionen berücksichtigt.

Die Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen im Bereich Erstellung basiert auf dem Merkblatt SIA 2032 *Graue Energie von Gebäuden* [4]. Die Berechnung der Mobilitätsenergie und der entsprechenden Treibhausgasemissionen basiert auf dem Merkblatt 2039 *Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit des Gebäudestandorts* [5].

Bezugsgrösse für alle Untersuchungen ist die Energiebezugsfläche EBF gemäss SIA 416/1. Die Energiebezugsfläche ist die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist. In Schulraumrichtlinien und Flächenangaben von Schulbauten wird in der Regel die Hauptnutzfläche HNF ausgewiesen, auch die Geschossfläche GF ist eine häufig angegebene Grösse. Die Geschossfläche GF umfasst sämtliche Flächen inklusive die Konstruktionsflächen der Gebäude wie Aussen- und Innenwände. Die Energiebezugsfläche als zentrale Bezugsgrösse wird oft über Annäherungsformeln aus bekannteren Flächenangaben abgeleitet.

Alle Berechnungen in dieser Studie basieren auf der Grundlage der Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionen nach *Ökobilanzdaten im Baubereich* [6]. Nutzungsgrade und Arbeitszahlen sind gemäss *SIA-Effizienzpfad Energie* [2] eingesetzt und für den Strom ist der CH-Verbrauchermix hinterlegt.

2.4.2 Variabilität der Standardnutzungswerte: Szenarien «typisch», «suffizient», «verschwenderisch»

Während der *SIA-Effizienzpfad Energie* mit standardisierten Nutzungsbedingungen rechnet, werden im Rahmen dieser Studie die Standardnutzungswerte variiert. Das den Standardnutzungsbedingungen hinterlegte Nutzerverhalten basiert auf Berechnungsnormen des SIA (beispielsweise SIA 380/1 *Thermische Energie im Hochbau*, SIA 380/4 *Elektrische Energie im Hochbau*) und wo diese fehlen (beispielsweise zur Personenfläche oder zum Mobilitätsverhalten) auf heutigen, gesamtschweizerischen Durchschnittswerten.

Dieses standardisierte Nutzerverhalten wird in dieser Studie als «typisch» bezeichnet. Ein Nutzerverhalten, das zu weniger Nachfrage nach energierelevanten Gütern und Dienstleistungen führt, wird im Folgenden als «suffizient» bezeichnet. Auch wenn diese Studie unter dem Titel von Suffizienz steht, so werden doch auch die Auswirkungen eines gegenteiligen Verhaltens beleuchtet und in der Folge als «verschwenderisch» bezeichnet. Die in dieser Studie hinterlegten Annahmen zu den von einem standardisierten Nutzerverhalten abweichenden Szenarios «suffizient» und «verschwenderisch», sind nachstehend beschrieben und dienen zur Potenzialabschätzung in den Berechnungen. Um eine sinnvolle und realitätsnahe Variabilität im Nutzerverhalten zu definieren, konnte auf die Erfahrungen aus dem Betrieb der rund 120 Volksschulhäuser der Stadt Zürich zurück gegriffen werden.

Die untenstehenden Szenarien basieren teilweise auf Annahmen. Da nicht in allen Bereichen auf eine gesicherte Datengrundlage zurückgegriffen werden kann, bilden auch die im Szenario «typisch» gewählten Annahmen nicht zwingend einen gesamtschweizerisch gültigen Standard ab.

Szenario «typisch»:

- 24 m² Energiebezugsfläche pro Schülerin und Schüler
- Raumlufttemperatur: Klassenzimmer bei 21°C, Treppenhäuser und Korridore 16°C
- Keine Reduktion der Heizleistungen an Wochenenden oder in Ferien
- Lüftung durch Fensteröffnen in Pausen zwischen zwei Unterrichtsstunden
- Beleuchtung über Bewegungsmelder gesteuert
- Computer und andere elektrische Geräte sind tagsüber durchgehend in Betrieb
- Schüler und Schülerinnen kommen grösstenteils mit dem Fahrrad oder zu Fuss
- Die Hälfte der Lehrpersonen und Beschäftigten legen den Arbeitsweg mit dem Auto zurück.

Szenario «suffizient»:

- 20 m² Energiebezugsfläche pro Schülerin und Schüler
- Raumlufttemperatur: Klassenzimmer bei 20°C, Treppenhäuser und Korridore 16°C
- Reduktion der Heizleistung an Wochenenden und während Ferien
- Minimierung des Stromverbrauchs ausserhalb der Nutzungszeiten
- Lüftung durch Fensteröffnen in Pausen zwischen zwei Unterrichtsstunden

- Beleuchtung über Bewegungsmelder gesteuert. Licht wird konsequent gelöscht, wenn sich niemand im Raum befindet oder die Tageslichtverhältnisse dies zulassen.
- Computer und andere elektrische Geräte sind nur eingeschaltet, wenn sie genutzt werden. Mehrere Schülerinnen und Schüler teilen sich ein Gerät.
- Schüler und Schülerinnen kommen mit dem Fahrrad oder zu Fuss zur Schule.
- Lehrpersonen und Beschäftigten legen längere Arbeitswege mit dem öV zurück.

Szenario «verschwenderisch»:

- 28 m² Energiebezugsfläche pro Schülerin und Schüler
- Raumlufttemperatur: Klassenzimmer bei 24°C, Treppenhäuser und Korridore 20°C
- Keine Reduktion der Heizleistungen an Wochenenden oder in Ferien
- Lüftung über ständig geöffnete Kipfenster
- Beleuchtung nicht gesteuert. Licht bleibt meistens an, auch wenn sich niemand im Raum befindet oder die Tageslichtverhältnisse ausreichend wären.
- Computer und andere elektrische Geräte sind durchgehend in Betrieb und bleiben auch während der Ferien im Stand-by-Modus.
- Einige Schüler und Schülerinnen lassen sich von den Eltern mit dem Auto zur Schule fahren.
- Die meisten Lehrpersonen und Beschäftigte legen den Arbeitsweg mit dem Auto zurück. Es stehen stets genügend, nicht kostenpflichtige Parkplätze zur Verfügung.

2.4.3 Unterschiedliche Gebäude: «effizienter Neubau», «effizienter Umbau», «ineffizienter Altbau»

Suffizienz soll in dieser Studie unter Voraussetzung von bereits ausgeschöpften Möglichkeiten bezüglich Effizienz und Konsistenz betrachtet werden. Das Potenzial von Suffizienz soll aber auch an älteren, gar nicht oder wenig wärmedämmten Bauten untersucht werden. Insgesamt werden vereinfachend folgende drei Gebäudestandards bezüglich Energieeffizienz betrachtet:

«effizienter Neubau»:

- Erfüllt die Zielwerte des SIA-Effizienzpfads Energie für Neubauten
- Heizwärmebedarf entspricht Standard Minergie für Neubauten (90% des Grenzwerts nach SIA 380/1)
- Deckung des Wärmebedarfs mit einer Erdsonden-Wärmepumpe
- Lüftung mit kontrollierter Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Beleuchtung mit Präsenzmeldern gesteuert und energieeffizient gelöst.
- Sämtliche elektrische Geräte (Betriebseinrichtungen) energieeffizient.

«effizienter Umbau»:

- Erfüllt die Zielwerte des SIA-Effizienzpfads Energie für Umbauten
- Heizwärmebedarf entspricht Standard Minergie für Modernisierungen (90% des Grenzwerts nach SIA 380/1)
- Deckung des Wärmebedarfs mit einer Erdsonden-Wärmepumpe
- Lüftung durch Fensteröffnen von Hand oder automatisierter Fensteröffnung
- Beleuchtung mit Präsenzmeldern gesteuert und energieeffizient gelöst.
- Sämtliche elektrische Geräte (Betriebseinrichtungen) energieeffizient.

«ineffizienter Altbau»:

- Energetisch nicht saniertes und noch kaum gedämmtes Gebäude mit älteren Fenstern
- Heizwärmebedarf 350 MJ/m²
- Deckung des Wärmebedarfs mit einer Gasheizung
- Lüftung durch Fensteröffnen von Hand
- Beleuchtung nicht gesteuert. Nicht konsequent mit energieeffizienten Leuchten ausgerüstet.
- Sämtliche elektrische Geräte (Betriebseinrichtungen) energieeffizient.

2.5 Zum Aufbau dieser Studie

In den Kapiteln 3 bis 6 dieser Studie werden die wichtigsten Einflussgrössen einzeln untersucht, die hinterlegten Annahmen beschrieben, Hypothesen formuliert und die Potenziale berechnet. Kapitel 7 führt die Potenziale in den vier Handlungsfeldern zusammen. Kapitel 8 schliesst die Studie mit Empfehlungen. In den Kapiteln 2 bis 8 werden auf den farblich hinterlegten Seiten die Erkenntnisse spezifisch auf die Situation in der Stadt Zürich bezogen.

2.6 Beispiel Stadt Zürich: Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft

Die Stadt Zürich verfügt über ein sehr grosses Schulhausportfolio und über eine relativ gute Datenlage zu ihren 120 Volksschulhäusern. Beispielhaft werden die Eigenheiten und spezifischen Potenziale der städtischen Schulbauten in diesem Bericht beleuchtet und damit die Erkenntnisse für die Stadt Zürich konkretisiert.

Eine quantitative Aussage, wie sich das grosse städtische Schulhausportfolio bezüglich Suffizienz positioniert, ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Die vorhandene Situation wird aber gemeinsam mit dem Schulamt, der Immobilien-Bewirtschaftung der Stadt Zürich, der Fachstelle nachhaltiges Bauen, der Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik und des Umwelt- und Gesundheitsschutzes analysiert und Erfahrungen wie auch Messwerte zusammengetragen. Dadurch ist eine vorsichtige, qualitative Einschätzung möglich, wie sich die städtischen Volksschulen auf der Skala zwischen «typisch», «suffizient» und «verschwenderisch» einreihen. Die spezifischen Empfehlungen berücksichtigen, dass die Stadt Zürich im Bereich der Energieeffizienz bei den städtischen Schulbauten bereits einen grossen Einsatz leistet, den Energieverbrauch dokumentiert und laufend optimiert.

Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft

Im Juni 2011 wurde mit der Studie *Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft* [7] untersucht, ob das Portfolio der Züricher Volksschulhäuser die Etappenziele der 2000-Watt-Gesellschaft¹ gemäss SIA-Effizienzpfad Energie erreichen kann. Mit den beiden Strategien Effizienz und Konsistenz scheint gemäss dieser Studie das ambitionöse Ziel erreichbar. Das Potenzial von Suffizienz beziehungsweise eines verschwenderischen Verhaltens wurde in der genannten Studie ausgeklammert. Alle Berechnungen erfolgten mit Standardannahmen, das heisst ein «typisches» Verhalten wurde zu Grunde gelegt.

Gemäss dieser Studie befanden sich in der Stadt Zürich im Jahr 2011 rund 85% aller Schulflächen in Altbauten, welche den heutigen energetischen Anforderungen nicht mehr genügen. Mehr als die Hälfte der 120 Volksschulhäuser in der Stadt Zürich zeichnen sich durch eine überdurchschnittlich hohe baukulturelle Bedeutung aus und sind im Inventar der Denkmalpflege erfasst.

Die Studie *Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft* zeigt in einem Szenario, wie sich das städtische Portfolio bis ins Jahr 2050 entwickeln könnte. Das Jahr 2050 ist dabei der Zeithorizont, bis zu jenem das Etappenziel der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden soll. In der genannten Studie wird davon ausgegangen, dass alle bestehenden Bauten bis dahin energetisch saniert werden, wobei die Eingriffstiefe bei inventarisierten Objekten kleiner ist. Eine Abkehr von fossilen Energieträgern unterstützt die energetischen Bemühungen. Der Anteil energetisch unsanierter Altbauten wird damit auf rund 20% gesenkt (es handelt sich insbesondere um inventarisierte Gebäude), 70% der Flächen befinden sich in effizienten Umbauten und knapp 10% in neu erstellten energieeffizienten Neubauten.

Mit dieser Strategie «Konsens», wie sie unter Mitwirkung aller Akteure erarbeitet wurde, kann das Etappenziel der 2000-Watt-Gesellschaft bis ins Jahr 2050 umgesetzt werden. Voraussetzung ist, dass die Standardannahmen wie der Flächenbedarf pro Kopf oder das Nutzerverhalten sich nicht in eine ungünstige Richtung verändern.

¹ Etappenziele bis ins Jahr 2050: 3500 Watt/Person Primärenergie gesamt, 2000 Watt/Person Primärenergie nicht erneuerbar, jährlich 2 Tonnen/Person CO₂-Äquivalente

3 Einflusspotenzial Personenfläche

Der Flächenbedarf pro Person ist einer der wichtigsten Einflussgrössen im Bereich Suffizienz. Ähnlich wie bei Wohnbauten wächst der Flächenbedarf auch in den Schulanlagen stetig. Die Gründe dafür sind vielfältig. Neue Unterrichtsformen, in denen Klassen in Gruppen und individuell lernen, verlangen nach entsprechenden Raumangeboten. Zusätzliche Dienstleistungen, wie die Betreuung, müssen untergebracht werden können.

3.1 Statistische Daten zum Flächenbedarf

Die statistischen Daten zum Flächenbedarf in Volksschulen sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Gemäss der Studie *Gebäudeparkmodell Schweiz* [8] betrug die gesamte Energiebezugsfläche in Volksschulen der Schweiz im Jahr 2005 19 Mio m². 807'000 Schülerinnen und Schüler besuchten diese und 73'000 Lehrpersonen unterrichteten gemäss statistischem Lexikon [zitiert in 7] an obligatorischen Schulstufen. Im gesamtschweizerischen Durchschnitt werden damit in den Volksschulen 24 m² Energiebezugsfläche pro Lernende und 260 m² pro Lehrperson beansprucht. Diese Grunddaten, wie sie auch in SIA 2040 verwendet werden, sind statistisch abgeleitet, wobei mehrere Unsicherheiten bestehen:

- Wie präzise ist die Trennung zwischen Volksschulen und weiterführenden Schulen in den statistischen Daten gelungen?
- Sind Turnhallen und Kindergärten, insbesondere auch freistehende, in der Energiebezugsfläche eingerechnet?
- Wie genau konnte die Energiebezugsfläche ermittelt werden? Handelt es sich um eine Ableitung aus den Geschossflächen oder Hauptnutzflächen?

Kindergärtner sind bei der Anzahl Schüler und Schülerinnen mitgerechnet. Bei der Anzahl Lehrpersonen sind alle Personen eingerechnet, welche an einer obligatorischen Schule unterrichten. Lehrkräfte unterrichten teilweise in kleinen Anstellungspensen und verfügen über keine eigenen Räume.

Die statistische Grundlage stammt aus dem Jahr 2005. Die Entwicklungen der letzten Jahre sind also noch nicht berücksichtigt.

3.2 Personenbezogene und flächenbezogene Zielwerte

Die Zielwerte des SIA-Effizienzpfades sind aus den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft abgeleitet und damit grundsätzlich personenbezogen. Jeder Person wird ein gleiches Budget an Energie und an Treibhausgasemissionen zugesprochen. Da es sich beim SIA-Effizienzpfad um ein Planungsinstrument handelt, werden die Zielwerte üblicherweise jedoch flächenbezogen ausgewiesen, wobei jeder Gebäudekategorie ein standardisierter Flächenbedarf pro Person – die Personenfläche – hinterlegt wird. Bei der Gebäudekategorie Schulen wird die durchschnittliche Fläche pro Schülerin und Schüler in der Schweiz von 24 m² Energiebezugsfläche eingesetzt.

Der durchschnittliche Flächenbedarf ist allen Berechnungen standardmässig hinterlegt. In der Realität können selbstverständlich ganz andere Verhältnisse auftreten. Die Belegung von Bauten ist keine konstante Grösse. Bei Schulanlagen ist die Belegung von Jahr zu Jahr unterschiedlich. In der Regel können weniger oder mehr Schüler und Schülerinnen über kleinere oder grössere Klassen aufgefangen werden. Das führt dazu, dass bei kleineren Schwankungen der Schülerzahlen die Anzahl Lehrpersonen sich nicht verändert. In dieser Studie wird von der vereinfachenden Annahme ausgegangen, dass sich die Zahl der Schülerinnen und Schüler und der Lehrpersonen proportional verändern.

Figur 3: Zielwerte flächenbezogen und personenbezogen für die Gebäudekategorie Schulen

	Primärenergie gesamt ²	Primärenergie nicht erneuerbar	Treibhausgasemissionen	
			Neubau	Umbau
SCHULEN	Neubau und Umbau		Neubau	Umbau
pro Person (Gesamtbevölkerung)	52 Watt/P	28 Watt/P	0.036 t/P	0.034 t/P
pro SchülerIn	495 Watt/ SchülerIn	266 Watt/ SchülerIn	0.35 t/ SchülerIn	0.32 t/ SchülerIn
bei 24 m ² / SchülerIn jährlich	650 MJ/m ² a	350 MJ/m ² a	14.5 kg/m ² a	13.5 kg/m ² a

Gehen wir hier davon aus, dass der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen pro Person, unabhängig von der Personenfläche, gemäss 2000-Watt-Gesellschaft gleich gross bleiben darf, so verändern sich die flächenbezogenen Zielwerte bei variabler Personenfläche.

Figur 4: Zielwerte flächenbezogen bei variabler Personenfläche.

Zielwerte	PE gesamt MJ/m ²	PE n. erneuerbar MJ/m ²	Treibhausgasemissionen kg/m ²	
			Neubau	Umbau
SCHULEN	Neubau / Umbau	Neubau / Umbau	Neubau	Umbau
20 m ² / SchülerIn	780	420	17.4	16.2
22 m ² / SchülerIn	710	380	15.8	14.7
24 m² / SchülerIn	650	350	14.5	13.5
26 m ² / SchülerIn	600	320	13.4	12.5
28 m ² / SchülerIn	560	300	12.4	11.6
30 m ² / SchülerIn	520	280	11.6	10.8

3.3 Auswirkungen auf die drei Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität

Die Richtwerte in den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität haben orientierenden und nicht verbindlichen Charakter. Die Richtwerte sind «Bottom-up» abgeleitet aus der Vorgabe, dass sie mit den heutigen technischen Möglichkeiten und bei guten Rahmenbedingungen realisierbar sind. Aufsummiert entsprechen sie den Zielwerten, welche gemäss SIA-Effizienzpfad Energie verbindlich sind.

3.3.1 Auswirkungen im Bereich Erstellung

Die Graue Energie und Treibhausgasemissionen im Bereich Erstellung werden gemäss SIA Merkblatt *Graue Energie von Gebäuden* [4] absolut oder flächenbezogen berechnet. Für die Erstellungsenergie ist es weitgehend irrelevant, wie viele Lernende pro Fläche in einem Schulhaus unterrichtet werden. Insofern darf in einer ersten Näherung davon ausgegangen werden, dass die Richtwerte im Bereich Erstellung, unabhängig von der Personenbelegung, gleich bleiben.

Hypothese

Die Personenfläche hat auf die flächenbezogene Erstellungsenergie einen untergeordneten Einfluss und kann vernachlässigt werden.

- Die flächenbezogenen Werte bleiben damit bei variabler Personenfläche gleich.
- Die personenbezogenen Werte verändern sich direkt proportional zur Personenfläche.

² PE gesamt ist im SIA-Effizienzpfad Energie nicht definiert und bezieht sich auf eine andere Bilanzgrenze: erneuerbare am Standort gewonnene Energie wird eingerechnet. Herleitung der obigen Werte in [9].

Auswirkungen im Bereich Erstellung bei effizienten Neu- und Umbauten

Wenn die genannte Hypothese zutrifft, werden sich die Richtwerte für die Erstellung in der Erstellung bei einem Neubau oder Umbau in Abhängigkeit der Personenfläche nicht verändern.

Figur 5: Flächenbezogene Richtwerte im Bereich Erstellung bei variabler Personenfläche

Erstellung	Primärenergie gesamt MJ/m ²		Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m ²		Treibhausgasemissionen kg/m ²	
	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau
SCHULEN						
20-30 m ² / SchülerIn	130	80	110	60	9.0	5.5

Auswirkungen im Bereich Erstellung bei energetisch uneffizienten Altbauten

Schulanlagen, die mehr als 30 Jahre alt sind und energetisch in den letzten 30 Jahren nicht saniert wurden, gelten gemäss SIA 2040 im Bereich Erstellung als energetisch amortisiert.

Figur 6: Flächenbezogene Projektwerte im Bereich Erstellung bei amortisierten Gebäuden

Erstellung	Primärenergie gesamt MJ/m ²		Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m ²		Treibhausgasemissionen kg/m ²	
	energetisch uneffizienter Altbau					
SCHULEN						
20 - 30 m ² / SchülerIn	0		0		0.0	

3.3.2 Auswirkungen im Bereich Betrieb

Schwieriger gestaltet sich die Prognose beim Einfluss der Personenfläche auf den Betrieb von Schulbauten. Je nach Verwendungszweck hat die Personenfläche einen sehr unmittelbaren Einfluss auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen oder er ist vernachlässigbar.

Hypothesen

- Raumwärme: Der Heizwärmebedarf ist in einer ersten Annäherung unabhängig von der Personenfläche. Der Effekt der höheren Wärmegewinne durch Personen wird durch den höheren notwendigen Aussenluftvolumenstrom in etwa kompensiert.³
 - Die flächenbezogenen Werte bleiben bei variabler Personenfläche unverändert.
 - Die personenbezogenen Werte verändern sich direkt proportional zur Personenfläche.
- Warmwasser: Der Warmwasserbedarf in Schulgebäuden ist vergleichsweise gering. Er ist grundsätzlich personenabhängig. Der Warmwasserbedarf pro Person bleibt konstant.
 - Die flächenbezogenen Werte verändern sich indirekt proportional zur Personenfläche.
 - Die personenbezogenen Werte bleiben bei variabler Personenfläche unverändert.
- Hilfsenergie: Diese ist unabhängig von der Personenbelegung.⁴
 - Die flächenbezogenen Werte bleiben bei variabler Personenfläche unverändert.
 - Die personenbezogenen Werte verändern sich direkt proportional zur Personenfläche.
- Lüftung: Es wird angenommen, dass sich bei einer grösseren Belegungsdichte die Wärmegewinne durch höhere interne Lasten und die Wärmeverluste durch häufigeres Fensterlüften in etwa ausgleichen dürften (vgl. Raumwärme).⁵
 - Die flächenbezogenen Werte bleiben bei variabler Personenfläche unverändert.
 - Die personenbezogenen Werte verändern sich direkt proportional zur Personenfläche.

³ In den Berechnungen wird, unabhängig von der Personenfläche, ein gleich bleibender Heizwärmebedarf eingesetzt.

⁴ In den Berechnungen wird, unabhängig von der Personenfläche, ein gleich bleibender Anteil Hilfsenergie eingesetzt.

⁵ In den Berechnungen ist, unabhängig von der Personenfläche, ein gleich bleibender Strombedarf für Lüftungsanlagen eingesetzt.

- Beleuchtung: Wenn sich in den gleichen Räumen mehr oder weniger Personen aufhalten werden vermutlich gleich viele Leuchten gleich oft in Betrieb sein. Es wird davon ausgegangen, dass nicht zusätzliche oder weniger Räume genutzt werden. Bei der allgemeinen Beleuchtung dürfte die Veränderung vernachlässigbar sein. Die Beleuchtung ist unter dieser Voraussetzung unabhängig von der Fläche pro Schülerin oder Schüler.
 - Die flächenbezogenen Werte bleiben bei variabler Personenfläche unverändert.
 - Die personenbezogenen Werte verändern sich direkt proportional zur Personenfläche.
- Betriebseinrichtungen: Der Elektrizitätsbedarf für die Betriebseinrichtungen ist personengebunden. Computer, Drucker, Kopierer und alle weiteren Geräte werden häufiger gebraucht wenn mehr Schülerinnen und Schüler sie benützen. Der entsprechende Strombedarf dürfte sich annäherungsweise umgekehrt proportional zur Personenfläche verhalten.⁶
 - Die flächenbezogenen Werte verändern sich indirekt proportional zur Personenfläche.
 - Die personenbezogenen Werte bleiben bei variabler Personenfläche unverändert.

Für die Umrechnung auf nicht erneuerbare Primärenergie und Treibhausgasemissionen wird bei dieser Ausgangslage Strom mit dem CH-Verbrauchermix eingesetzt.⁷

Auswirkungen im Bereich Betrieb bei effizienten Neu- und Umbauten

Wenn die genannten Hypothesen zutreffen, werden sich die Default-Werte im Betrieb bei einem energieeffizienten Neu- oder Umbau in Abhängigkeit der Personenfläche verändern. Annahmen:

- Bei Standardbelegung sind die Default-Werte aus dem SIA-Effizienzpfad Energie eingesetzt.
- Als Wärmeerzeuger wurde bei den energieeffizienten Neubauten und energetisch sanierten Umbauten eine Erdsonden-Wärmepumpe zu Grunde gelegt. Beim Neubau ist ein Heizwärmebedarf von 85 MJ/m² eingesetzt⁸, beim Umbau von 160 MJ/m²⁹. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe ist gemäss SIA-Effizienzpfad Energie 3.9 für Heizen und 2.0 für Warmwasser.¹⁰
- Beim Umbau wird davon ausgegangen, dass die Beleuchtung und die Betriebseinrichtungen erneuert sind und energieeffiziente Geräte entsprechend dem Neubau im Einsatz sind.
- Alle Neubauten verfügen über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Durch die Wärmerückgewinnung kann der Heizwärmebedarf um 40 MJ/m² gesenkt werden.

Figur 7: Berechnete Werte im Bereich Betrieb bei unterschiedlichen Personenflächen, effiziente Bauten

Betrieb	Primärenergie gesamt MJ/m ²		Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m ²		Treibhausgasemissionen kg/m ²	
	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau
SCHULEN						
20 m ² / SchülerIn	218	264	189	229	2.9	3.6
22 m ² / SchülerIn	214	260	185	225	2.9	3.5
24 m² / SchülerIn	210	256	182	221	2.8	3.4
26 m ² / SchülerIn	207	253	179	219	2.8	3.4
28 m ² / SchülerIn	204	250	176	216	2.7	3.4
30 m ² / SchülerIn	201	247	174	214	2.7	3.3

⁶ In den Berechnungen wird davon ausgegangen, dass bei einem Umbau die Geräte erneuert werden.

⁷ CH-Verbrauchermix: Primärenergiefaktor gesamt 3.05 plus erneuerbare, am Standort produzierte oder gewonnene Energie, Primärenergiefaktor nicht erneuerbar 2.64, Treibhausgasemissionskoeffizient 0.041 kg/MJ

⁸ Bei einer Gebäudehüllzahl von 1.0 liegt der Grenzwert Q_{h,li} bei 140 MJ/m², 90% des Grenzwerts bei 125 MJ/m². Wird eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut, verringert sich der Heizwärmebedarf auf rund 85 MJ/m². Der gewählte Heizwärmebedarf für Neubau entspricht in etwa einem Gebäude im Standard Minergie.

⁹ Q_{h,li} bei 175 MJ/m² (25% höher als Neubau), 90% des Grenzwerts bei 160 MJ/m². Dies entspricht dem Standard für Modernisieren nach Minergie.

¹⁰ Bemerkung: Wärmepumpe gewählt, damit ganzer Bedarf mit Elektrizität gedeckt wird und damit auch auf der Stufe Endenergie addiert werden darf.

Die eingesetzten Werte bei Standardpersonenfläche in der obigen Tabelle liegen in der Grössenordnung der Richtwerte im SIA-Effizienzpfad Energie, stimmen mit diesen aber nicht vollständig überein: Sie sind aus den oben genannten Annahmen konkret errechnet.

Auswirkungen im Bereich Betrieb bei energetisch nicht effizienten Altbauten

Anders ist die Ausgangslage in einem älteren Schulhaus, das den heutigen energetischen Ansprüchen nicht mehr genügt. Wirklich effiziente Gebäude mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien im Sinne dieser Studie und im Sinne des SIA-Effizienzpfads Energie stellen im gesamtschweizerischen Gebäudebestand einen noch verschwindend kleinen Anteil dar. Beispielfür solche Altbauten gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Für die Wärmeerzeugung für Raumwärme und Warmwasser wurde eine Gasheizung gewählt. Der Heizwärmebedarf von 350 MJ/m² ist hoch.
- Der Warmwasserbedarf ist in Altbauten etwas höher als in effizienten Neubauten, da die Leitungen nicht durchgehend gedämmt und keine wassersparenden Armaturen eingebaut sind.
- Es ist keine Lüftung mit Wärmerückgewinnung installiert.
- Für die Beleuchtung wird der verdoppelte Default-Wert gemäss SIA-Effizienzpfad Energie eingesetzt. Es sind also noch nicht überall energieeffiziente Leuchten montiert und sie sind auch nicht gesteuert. Für die Betriebseinrichtungen sind die Default-Werte des SIA-Effizienzpfads eingesetzt. Es sind also effiziente, neuere Geräte in Betrieb. Aufgrund der relativ kurzen Lebensdauer solcher Geräte ist dies naheliegend.

Figur 8: Berechnete Werte im Bereich Betrieb bei variabler Personenfläche, uneffiziente Bauten

Betrieb	Primärenergie gesamt MJ/m ²	Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m ²	Treibhausgasemissionen kg/m ²
SCHULEN	energetisch uneffizienter Altbau	energetisch uneffizienter Altbau	energetisch uneffizienter Altbau
20 m ² / SchülerIn	666	637	30.1
22 m ² / SchülerIn	661	632	29.9
24 m² / SchülerIn	656	628	29.8
26 m ² / SchülerIn	652	624	29.6
28 m ² / SchülerIn	648	621	29.5
30 m ² / SchülerIn	645	618	29.4

Die eingesetzten Werte bei Standardpersonenfläche in der obigen Tabelle liegen weit über den Richtwerten des SIA-Effizienzpfads Energie. Die Annahmen entsprechen einem typischen Altbau, der den heutigen energetischen Anforderungen nicht genügt.

3.3.3 Auswirkungen im Bereich Mobilität

Der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen in der Mobilität werden gemäss Merkblatt SIA 2039 *Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort* [5] personenbezogen berechnet.

Hypothesen

- Der Energieverbrauch für die Mobilität pro Person ist nur von der Anzahl Personen abhängig und unabhängig von der Personenfläche.¹¹ Die hier hinterlegte Annahme ist, dass die Anzahl Lernende und die Anzahl Lehrpersonen in einem annähernd proportionalen Verhältnis stehen. In Volksschulen, zumal in Kernstädten, dürfte ein Grossteil des Energieverbrauchs aus

¹¹ Bei folgender Berechnung wird von einem umgekehrt proportionalen Einfluss der Personenfläche auf die Mobilität ausgegangen.

dem Bereich Mobilität durch die Lehrpersonen verursacht werden. Schülerinnen und Schüler legen die Wege zum Schulhaus mehrheitlich zu Fuss, mit dem Fahrrad oder mit dem öffentlichen Verkehr zurück. Sie werden in Kernstädten mit ihrer relativen Nähe der Schulhausbauten zu den Wohnorten eher selten durch die Eltern mit dem Auto zum Schulhaus gefahren.

- Die flächenbezogenen Werte verändern sich indirekt proportional zur Personenfläche.
- Die personenbezogenen Werte bleiben bei variabler Personenfläche unverändert.

Auswirkungen im Bereich Mobilität in der Kernstadt

Wenn die genannten Hypothesen zutreffen, werden sich die Default-Werte im Bereich Mobilität bei einem effizienten Neubau oder Umbau und bei einem nicht effizienten Altbau gemäss der folgenden Tabelle in Abhängigkeit der Personenfläche verändern.

Die eingesetzten Werte bei Standardpersonenfläche in der Tabelle entsprechen den Richtwerten des SIA-Effizienzpfads Energie.

Figur 9: Eingesetzte Werte im Bereich Mobilität in Kernstädten bei unterschiedlichen Personenflächen

Mobilität	Primärenergie gesamt MJ/m ²	Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m ²	Treibhausgasemissionen kg/m ²
SCHULEN	Neubau / Umbau / Altbau	Neubau / Umbau / Altbau	Neubau / Umbau / Altbau
20 m ² / SchülerIn	84	72	3.6
22 m ² / SchülerIn	76	65	3.3
24 m² / SchülerIn	70	60	3.0
26 m ² / SchülerIn	65	55	2.8
28 m ² / SchülerIn	60	51	2.6
30 m ² / SchülerIn	56	48	2.4

3.4 Fazit zu variabler Personenfläche

Der Einfluss der Personenfläche auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen ist gross. Bei einer um rund 20% reduzierten Fläche pro Schüler und Schülerin werden der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen pro Kopf um rund 13% reduziert¹². Das Potenzial ist höher als bei Wohnbauten, da der Anteil des personenabhängigen Energieverbrauchs kleiner (z.B. Warmwasser, Betriebseinrichtungen, Mobilität) und der Anteil des flächenabhängigen Energieverbrauchs (Erstellung, Raumwärme, Beleuchtung, Lüftung) grösser ist.

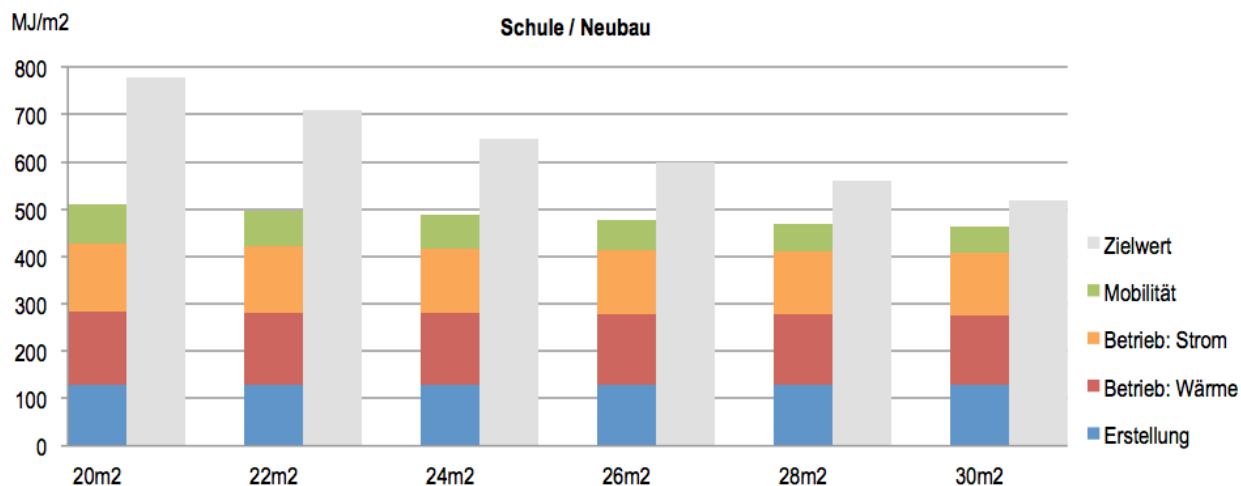
Bei der Primärenergie nicht erneuerbar und den Treibhausgasemissionen zeigen sich deutliche Unterschiede in der Erreichbarkeit der Zielwerte abhängig von der Personenfläche. Während bei einem gegenüber den Standardannahmen kleineren Flächenbedarf die Zielwerte recht gut erreichbar sind, ist bei einem grösseren Flächenbedarf die Zielerreichung deutlich schwieriger oder sogar unmöglich.

¹² 100% entspricht der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität gemäss SIA-Effizienzpfad Energie bei Standardpersonenfläche.

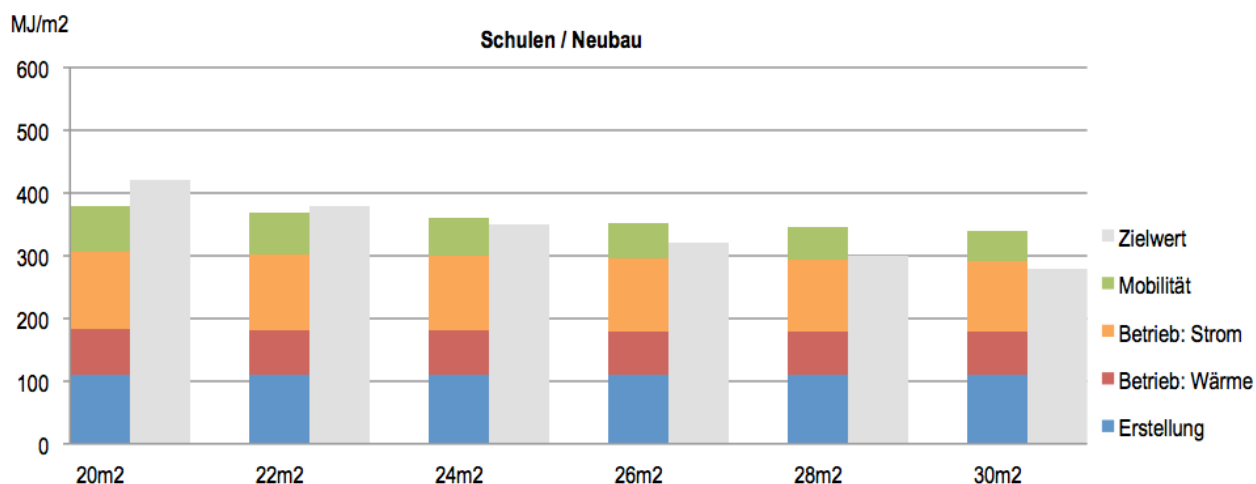
Zielerreichung im energetisch effizienten Neubau

Stellvertretend wird hier ein effizienter Neubau in allen drei relevanten Zielgrößen dargestellt. Die Bezugsgröße auf der vertikalen Achse entspricht der Energiebezugsfläche – es handelt sich also um eine Darstellung in der üblichen Einheit gemäss SIA-Effizienzpfad Energie. Der Zielwert verändert sich indirekt proportional mit der Personenfläche (gemäss Kapitel 3.2).

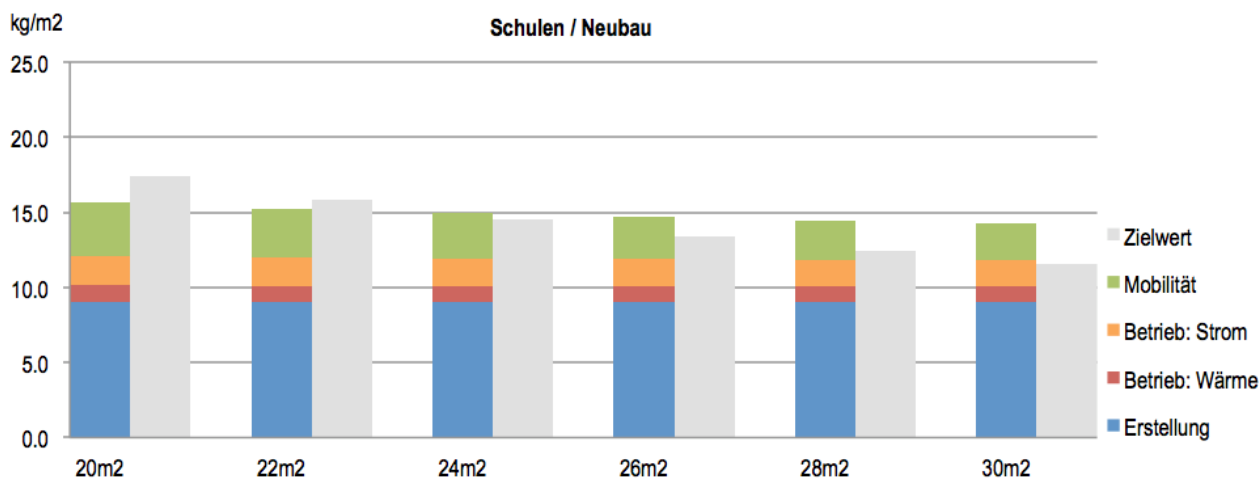
Figur 10: Einfluss einer variablen Personenfläche in einem energieeffizienten Gebäude; Primärenergie gesamt



Figur 11: Einfluss einer variablen Personenfläche in einem effizienten Gebäude; Primärenergie nicht erneuerbar



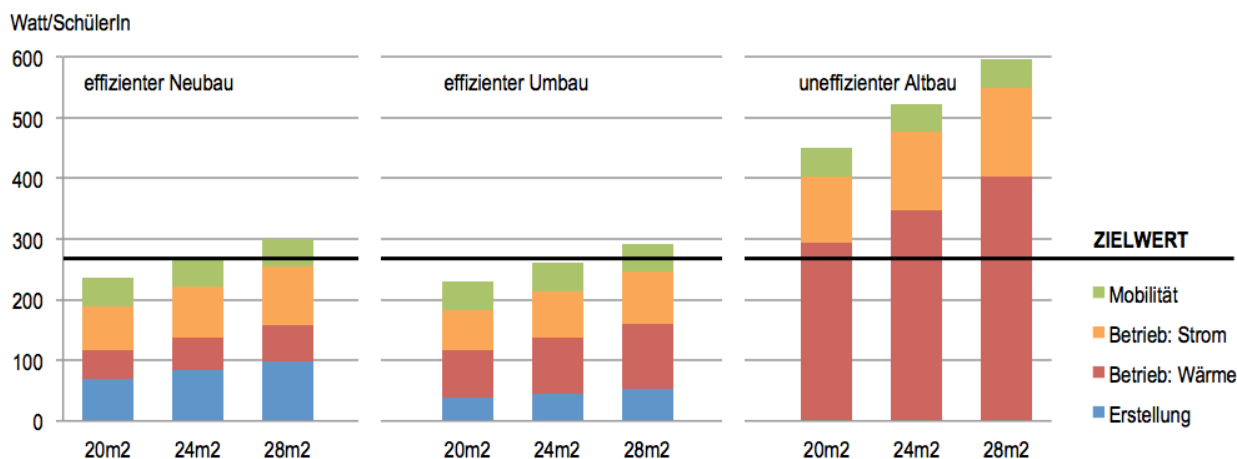
Figur 12: Einfluss einer variablen Personenfläche in einem energieeffizienten Gebäude; Treibhausgasemissionen



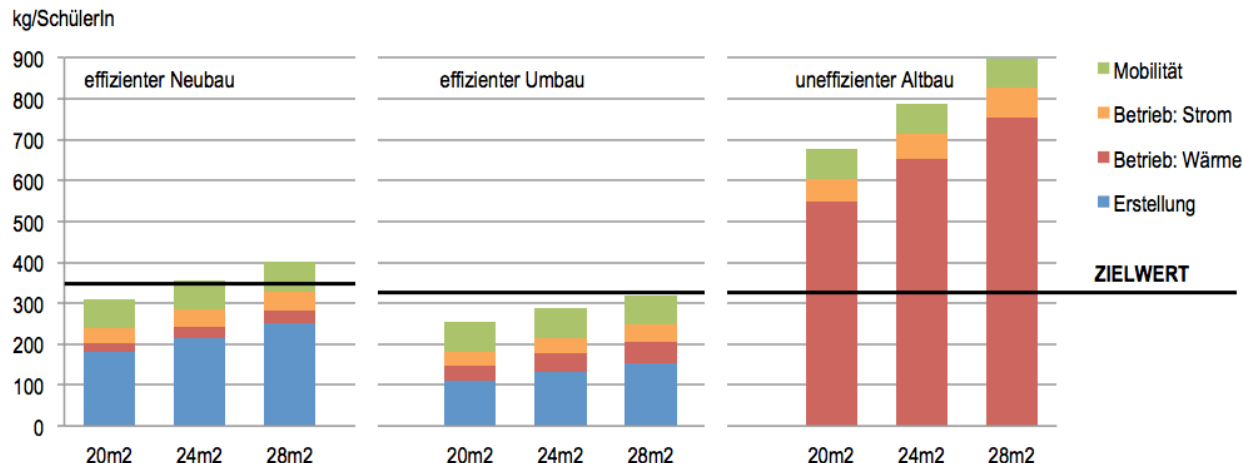
Zielerreichung im Vergleich bei unterschiedlichem Energiestandard der Gebäude

Wird der Betrachtung ein gleichbleibendes Budget für den Energieverbrauch pro Kopf entsprechend dem Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft zugrunde gelegt, ist sofort ersichtlich: eine geringere Personenfläche erleichtert, eine grosse Personenfläche erschwert die Zielerreichung. Egal ob es sich um einen effizienten Neubau oder um einen unsanierten Altbau handelt: eine reduzierte Fläche pro Person senkt den Energieverbrauch und die Emissionen pro Kopf deutlich. Das Gebäude, die Ausstattung und das Nutzerverhalten der Personen bleiben unverändert. In dieser Darstellung bleibt der Zielwert, unabhängig von der Personenfläche, immer gleich hoch.

Figur 13: Einfluss einer variablen Personenfläche bei unterschiedlichem Gebäudestandard; mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar



Figur 14: Einfluss einer variablen Personenfläche bei unterschiedlichem Gebäudestandard; Treibhausgasemissionen



Für die Zielerreichung bei effizienten Neu- und Umbauten bedeutet dies folgendes:

- Bei 20 m² Fläche pro Lernenden werden die Zielwerte problemlos erreicht. Auch kleinere und nicht kompakte Baukörper, Gebäude mit einem höheren Heizwärmebedarf oder an einem im Bezug auf die Mobilität weniger günstigen Standort können die Zielwerte erreichen.
- Bei 24 m² Fläche pro Lernenden werden die Zielwerte im Umbau gut erreicht. Bei Neubauten ist die Zielwerterreichung mit zusätzlichen Massnahmen relativ einfach möglich (z.B. tieferer Heizwärmebedarf, Produktion erneuerbarer Energie im Bilanzperimeter).
- Bei 28 m² Fläche pro Lernenden gelingt die Zielwerterreichung beim Neubau kaum: das Schulhaus müsste eine Nullbilanz im Betrieb aufweisen, um die Zielwerte zu erreichen. Ein Umbau erreicht die Zielwerte mit zusätzlichen Massnahmen (z.B. tieferer Heizwärmebedarf, Produktion erneuerbarer Energie im Bilanzperimeter).

Bei energetisch nicht effizienten Altbauten zeigt sich folgendes Bild:

- Bei typischer Nutzung und variabler Personenfläche ergeben sich für energetisch nicht effiziente Gebäude Projektwerte, welche weit über den entsprechenden Zielwerten des SIA-Effizienzpfades liegen.
- Aufgrund der eingesetzten Gasheizung sind vor allem die Zielwerte für Treibhausgasemissionen weit überschritten: bei 20 m² Fläche pro Lernenden um rund das Doppelte, bei 28 m² sogar mehr als das Zweieinhalbfache. Eine Zielerreichung ist nicht möglich.
- Absolut gesehen sind bei nicht effizienten Altbauten im Vergleich zu effizienten Neu- und Umbauten die grössten Reduktionen der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen zu erreichen.

3.5 Beispiel Stadt Zürich: Flächenbedarf in den Schulen

Die Stadt Zürich hat mit ihrem grossen Schulhausportfolio eine gute statistische Grundlage, um die Entwicklung des Flächenbedarfs über die letzten Jahre zu verfolgen. Stellvertretend soll hier nach den Gründen für die Flächenentwicklung gefragt werden. Ein wachsender Flächenbedarf wirkt sich nicht zuletzt auch auf die Kostenentwicklung negativ aus. Hinweise, mit welchen Konzepten und Ideen die Stadt Zürich diesem Trend entgegenzuwirken versucht, sind von grossem Interesse.

Über das ganze Portfolio gesehen dürften die städtischen Schulen im gesamtschweizerischen Durchschnitt liegen. Bei Neubauten zeichnet sich eine Tendenz zu einem rund 10% höheren Flächenbedarf ab.

3.5.1 Effektiver Flächenbedarf in den städtischen Schulen

Das Portfolio der städtischen Schulen mit ihren rund 120 Anlagen besteht grossmehrheitlich aus älteren Bauten mit einer Bauzeit bis zu den 1960er Jahren. Über das ganze Portfolio gesehen, ist der Flächenbedarf pro Schülerin bzw. pro Schüler vermutlich moderat bis suffizient. Die Studie *Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft* [7] hat an 11 repräsentativen städtischen Schulhäusern einen Flächenbedarf ermittelt, der leicht unter dem gesamtschweizerischen Durchschnittswert von 24 m² Energiebezugsfläche pro Schüler und Schülerin liegt.

Bei Bauten, die ab ca. 1970 erstellt wurden, nimmt der Flächenbedarf in den städtischen Schulbauten zu. In der Tendenz ist der Flächenbedarf aber nicht in den ältesten Schulhäusern am Niedrigsten, sondern in den Schulbauten der 1940er bis 1960er Jahre. Eine ähnliche Beobachtung zeigt sich auch beim Wohnflächenbedarf: Auch bei Wohnbauten weisen Gebäude aus der Nachkriegszeit und beginnenden Hochkonjunktur, in der aussergewöhnlich viel und schnell gebaut wurde, die grösste Flächeneffizienz auf.

Nimmt man die ab Januar 2012 geltenden *Empfehlungen für Schulhausanlagen* [10] des Kantons Zürich als Grundlage, so ergeben sich für die Zukunft aufgrund des empfohlenen Raumangebots pro Primarschüler 25 m² Energiebezugsfläche und 27 m² pro Sekundarschüler.¹³ Eine Analyse der in den letzten zehn Jahren neu erstellten Schulhausbauten in der Stadt Zürich bestätigt: Im Vergleich zum Durchschnittswert im Portfolio der Stadt Zürich zeichnet sich ein Zuwachs von rund 10% ab. Die Werte liegen damit auch über dem Schweizer Durchschnittswert des Jahres 2005. Dieser Trend illustriert eine Entwicklung, die nicht nur in der Stadt Zürich zu beobachten ist und deren Ursachen hier genauer beleuchtet werden sollen.

3.5.2 Entwicklung des Flächenbedarfs und Trends

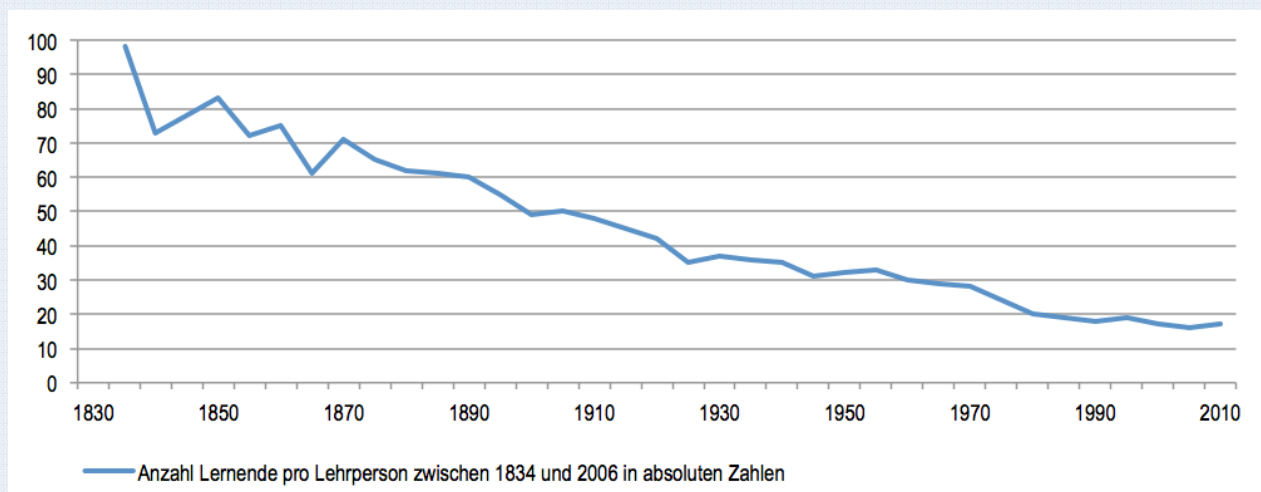
Der Flächenbedarf pro Schüler und Schülerin hat seit den 1940er Jahren stark zugenommen. Gemäss einer groben Schätzung lag die Energiebezugsfläche¹⁴ pro Schüler und Schülerin 1940 bei ca. 10 m², 2012 bei knapp 24 m². In dieser Zeit hat sich allerdings die Volksschule sehr stark und zum Teil grundlegend verändert. Dies hat unter anderem zur Folge, dass Schulhäuser heute anders genutzt werden als damals. Insbesondere wurden die Klassengrössen laufend reduziert.

Es ist evident, dass durch die Verkleinerung der Klassen der Flächenbedarf in den Schulen zunimmt, da beispielsweise zusätzliche Klassenzimmer benötigt werden. Zudem arbeiten immer mehr Lehrpersonen in einem Schulhaus.

¹³ In den Flächen eingerechnet sind: Schulräume, Betreuung, Turnhalle, Schulküche. Nicht eingerechnet sind Schwimmanlagen, Sprachheilschulen, Musikschulen und andere Spezialschulen. Berechnung der Energiebezugsfläche nach der Annäherungsformel $EBF = 0.8 \times (2x \text{ HNF})$. Quelle: Immobilien-Bewirtschaftung.

¹⁴ Für die Berechnung der Energiebezugsfläche wurde die Annäherungsformel $EBF = 0.8 \times (2x \text{ HNF})$ angewendet.

Figur 15: Entwicklung der Klassengrössen im Kanton Zürich. (Quelle: Zahlen und Fakten. Bildungsstatistik des Kantons Zürich, www.bista.zh.ch, Abbildung 4/11)



Im Folgenden werden einige Meilensteine und Hintergründe des Schulentwicklungsprozesses in den vergangenen Jahren auf kantonaler und städtischer Ebene aufgezeigt.

Kantonale Entwicklungen (gemäss Publikation «Schule macht Geschichte, 175 Jahre Volksschule Kanton Zürich», 2007):

- 1966 Einführung der «Kurse in heimatlicher Sprache und Kultur (HSK)» auf freiwilliger Basis.
- 1971 Beitritt Kanton Zürich zum interkantonalen Konkordat über die Schulkoordination. Einführung 9-jährige Schulpflicht.
- 1972 Verankerung der HSK-Kurse im Stundenplan der Volksschule, Nutzung der bestehenden Infrastruktur (Mittwoch, Samstag).
- 1981 Verfassungsartikel über die Gleichstellung von Mann und Frau: Koedukation bei Handarbeit und Hauswirtschaftsunterricht.
- 1991 Einführung neuer Lehrplan. Stichworte: vom traditionellen stofforientierten zum zielorientierten Lehrplan; exemplarisches und vernetztes Lernen; verstärkter Einbezug der Eltern
- 2003 Einführung Englisch-Unterricht ab der 2. Primarklasse
- 2005 Beschluss über Neues Volksschulgesetz (VSG):
 - Verlängerung der Schulpflicht auf 11 Jahre: obligatorischer Kindergarten
 - Geleitete Schulen
 - Schaffung von Tagesstrukturen gemäss Bedarf
 - Blockzeiten: mehr Lektionen im Kindergarten, Halbklassenunterricht mit stundenplan-technischen Massnahmen.
 - Förderung von Kindern mit besonderen Bedürfnissen, Integration von Kleinklassen- und Sonderschülerinnen und -schülern.

Als Folge des neuen Volksschulgesetzes wurden auch die kantonalen Schulbaurichtlinien angepasst, die ab 2012 Empfehlungen sind. Der Bedarf nach zusätzlichen Gruppen- und Therapie-räumen wurde entsprechend abgebildet und die Klassenzimmer um 4 m² vergrössert.

Der Raumbedarf für die Betreuung wurde vom Kanton Zürich 2007 in den Richtlinien über die Bewilligung von Kinderhorten festgelegt: Für Angebote mit mehr als 20 Stunden Nutzungszeit pro Woche werden mindestens 4 m² pro Platz empfohlen. Darin enthalten sind nutzbare Erschlies-sungsflächen und mehrfach zu nutzende Räume wie Gruppen- oder Aufenthaltsräume.

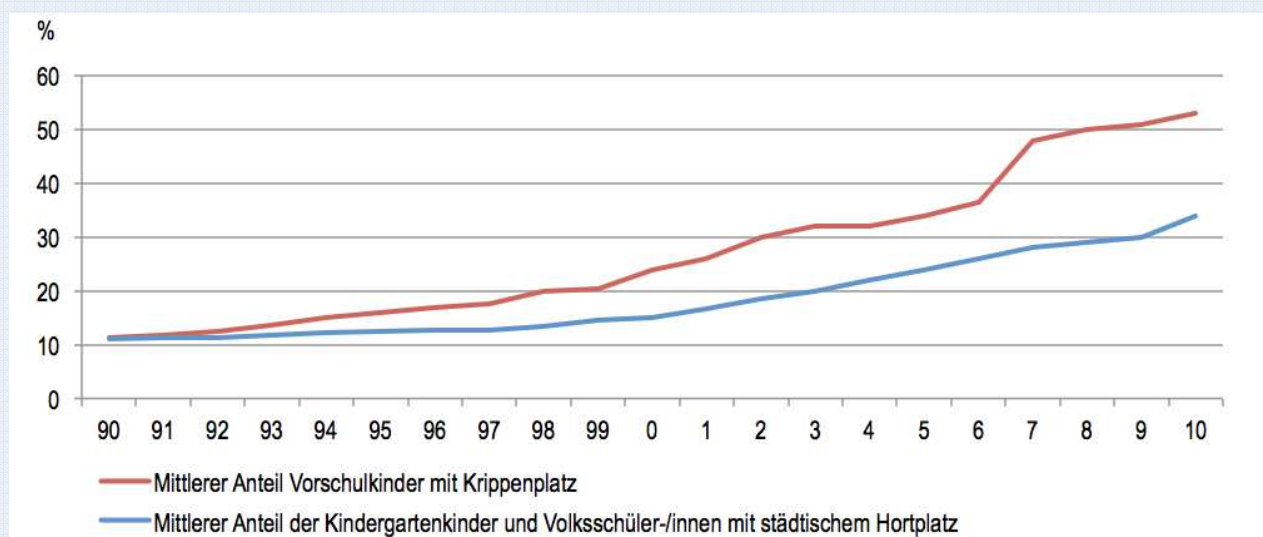
Entwicklungen in der Stadt Zürich. Folgende Entwicklungen in der Stadt Zürich hatten in den letzten zehn Jahren Auswirkungen auf den Flächenbedarf von Schulhausbauten:

- Einführung Schulsozialarbeit
- Flächendeckende Einführung von Schulleitungen
- Obligatorium Musikalische Elementarerziehung für alle ersten und zweiten Klassen.
- Annahme der Volksinitiative «Kinderbetreuung konkret» im Jahr 2005
- Neugestaltung der Sekundarstufe: Schaffung zweier Abteilungen (A, B), Abschaffung C-Klassen, Niveauunterricht in Klassenzimmern und Gruppenräumen
- Anpassung der Sporthallengrößen an die Bedürfnisse des Sports gemäss Magglinger-Normen (Wettkämpfe, Vereine usw.)
- Einführung einer Leitungsstruktur für den Betreuungsbereich
- Einführung und Förderung freiwilliger Angebote wie Schulsport, Aufgabenstunden, Musikunterricht
- Genehmigung «Raumstrategie Betreuung» durch den Stadtrat für zwei Jahre (2011 – 2013)
- Öffnung der Aussenräume der Schulanlagen für die Öffentlichkeit

Einige der erwähnten Entwicklungen führten direkt oder indirekt zu einem erweiterten Raumspruch und sei dies nur ein zusätzlicher Büroarbeitsplatz. Die Schule hat eine Vielzahl von zusätzlichen Aufgaben zu bewältigen. Ein Teil der zusätzlichen Aufgaben konnte in den bestehenden Räumen mittels Verdichtung oder längerer Verweildauer aufgefangen werden, beispielsweise HSK, Englisch, Schulsport, Aufgabenstunden sowie Neugestaltung Sekundarstufe.

Insbesondere die Volksinitiative «Kinderbetreuung konkret» führt aber zu einem starken Ausbau in der Betreuung und zu einem zusätzlichen Raumbedarf. Um das starke Wachstum bewältigen zu können, fand eine Verdichtung der bestehenden Betreuungslokale von bisher rund 5 m² auf durchschnittlich 3.8 m² pro Betreuungsplatz statt – weitere Verdichtungen sind im Gange. Gemäss der provisorischen «Raumstrategie Betreuung» sind durchschnittlich 2.8 m² pro Betreuungsplatz vorgesehen. Zusätzlich kann die vorhandene Infrastruktur (Schulräume) mit genutzt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen bestehen Bestrebungen, die Fläche pro Betreuungsplatz noch weiter zu reduzieren. Dass die Betreuungsfläche insgesamt trotzdem zunimmt, hängt damit zusammen, dass die Nachfrage laufend zunimmt und gemäss gesetzlichem Auftrag das Angebot entsprechend ausgebaut wird.

Figur 16: Versorgungsgrad in % mit Betreuungsplätzen in der Stadt Zürich (Quelle: Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich 2012, Figur G 22.19)



Untersuchungen des Schulamts¹⁵ zeigen, dass die Empfehlungen für Schulhausanlagen vom 1. Januar 2012 den formulierten Bedarf der Schulen gut abbilden. In spezifischen Bereichen (z.B. Spezialzimmer) besteht ein gewisses Optimierungspotenzial, das genutzt werden soll.

Die aktuelle politische Diskussion um die Entwicklung der Volksschule in der Stadt Zürich geht in die Richtung von Tagesschulen. Damit wird der historische Gedanke der «Volksschule» als Bildungseinrichtung für das Volk in gewissem Sinne weiterentwickelt. Tagesschulen begünstigen die Voraussetzungen für individuelle Förderung bzw. Anlässe des sozialen Miteinanders und bieten mehr Freiraum für freiere Unterrichtsformen wie beispielsweise Projektarbeit. Diese Entwicklung kann in Zukunft Konsequenzen auf den Raumbedarf haben.

3.5.3 Mehrfachnutzungen als Beitrag

Seit 2010 ist Mehrfachnutzung von Räumen ein Bestandteil der Raumstrategie Betreuung, die von der Konferenz der Schulpräsidien verabschiedet und vom Stadtrat für die Dauer von zwei Jahren genehmigt wurde. Der Raumbedarf für die Betreuung wurde vom Kanton Zürich 2007 in den Richtlinien über die Bewilligung von Kinderhorten festgelegt: Für Angebote mit mehr als 20 Stunden Nutzungszeit pro Woche werden mindestens 4 m² pro Platz empfohlen. Darin enthalten sind nutzbare Erschliessungsflächen und mehrfach zu nutzende Räume wie Gruppen- oder Aufenthaltsräume. Dieses Konzept wurde im Rahmen der Arbeit an der Raumstrategie Betreuung aufgenommen und implementiert. Die Schulen setzen das Konzept um, indem sie Turnhallen, Bibliotheken und Mehrzwecksäle über Mittag nutzen. Alle Hortleiterinnen, Hortleiter und Betreuungsassistentinnen, die mit Kindern die Turnhallen aufsuchen, wurden vom Sportamt in deren Nutzung geschult.

Während bei Neubauten und Erweiterungen von Schulanlagen auf das jeweils aktuelle Standardraumprogramm abgestützt wird, müssen in bestehenden Anlagen Lösungen innerhalb des beschränkten vorhandenen Raumangebots gefunden werden. Anstelle von baulichen werden deshalb oft betriebliche und organisatorische Massnahmen umgesetzt. Die Mehrfachnutzung von Räumen ist dabei eine Lösung, an der kaum eine Schule heute vorbeikommt. Sie hat den Vorteil, dass sie sich in der Regel relativ schnell und kostensparend umsetzen lässt. Nachteile sind ein grösserer organisatorischer Aufwand und allenfalls gewisse Kompromisse in der zeitlichen Verfügbarkeit der Räume. Erfolgreiche Erfahrungen mit der Mehrfachnutzung von Räumen werden bei der Planung neuer Schulanlagen berücksichtigt. Hier ist es auch wichtig, dass Behörden und Schulen gemeinsam an neuen Formen der gemeinsamen Nutzung von Räumen arbeiten. Insbesondere im Spannungsfeld zwischen Unterricht und Betreuung kann das gemeinsam genutzte Raumangebot vermutlich noch optimiert werden.

Die Stadt Zürich hat in einer Untersuchung zu den effektiven Nutzungszeiten von Schulräumen¹⁶ wertvolle Informationen bereitgestellt, welche durchaus ein Potenzial zu Mehrfachnutzungen von Schulräumen vermuten lassen. Das Bild ist selbstverständlich von Schulhaus zu Schulhaus unterschiedlich. In älteren Schulanlagen stehen in der Tendenz weniger individuell für eine Nutzung reservierte Räume zur Verfügung, in neueren Schulbauten bildet sich die Entwicklung klar in differenzierteren Nutzungszuweisungen für Räume ab.

Klassenzimmer sind demnach von Montag bis Freitag im Normalfall sehr gut ausgelastet und zwar über den ganzen Tagesverlauf mit Ausnahme des schulfreien Mittwochnachmittags. Mittagshorte sind mit einer durchschnittlichen Nutzungszeit von knapp 2 Stunden täglich während vier Tagen die Woche wenig genutzt. Mittag-/ Abendhorte hingegen sind an 5 Tagen während je 6 Stunden geöffnet. Dazu kommen die Vor- und Nachbereitungszeiten des Personals (ca. 2 Stunden pro Tag). Musikräume werden an Nachmittagen und in den früheren Abendstunden genutzt.

¹⁵ Arbeitspakete Flächenanalyse sowie Analyse Auslastung und Betriebskonzept im Rahmen des Projektes «Flächenmanagement/Controlling»

¹⁶ Arbeitspakete Analyse Auslastung und Betriebskonzept im Rahmen des Projektes «Flächenmanagement/Controlling»

Werkstätten der Sekundarstufe sind in der Regel wenig ausgelastet. Ausserhalb der Unterrichtszeiten sind die Räume durch folgendes belegt: Vor- und Nachbereitungsarbeiten Schulpersonal, freiwillige Angebote, Reinigung der Räume, Musikunterricht, Veranstaltungen in Aulen, Vereins-sport in Turnhallen. Letztere nutzen die Turnhallen in Schulanlagen zeitlich mindestens ebenso intensiv wie die Schulen selber und sind damit mitbestimmend für die Grösse und Ausstattung der Anlagen.

Nicht immer gelingt eine Mehrfachnutzung von Räumen. Die Einrichtung und Ausstattung der Räume, fehlende Stauräume für Maschinen und Musikinstrumente, die ständige Aufsichtspflicht des Schulpersonals (Sicherheit, Vandalismusverhinderung) sowie Reinigungszeiten stehen einer Mehrfachnutzung manchmal im Wege – hier sind neue Lösungen gefragt. Zum Teil führen auch bauliche Ansprüche und behördliche Vorgaben dazu, dass insbesondere bestehende Flächen nicht beliebig (um-)genutzt werden können. Dies kann sich negativ auf die Flächeneffizienz auswirken. Beispielsweise aufgrund von feuerpolizeilichen Auflagen oder Hygienevorschriften dürfen bestimmte Räume mit definierter Infrastruktur nur für bestimmte Zwecke verwendet werden.

Ein Blick in die Entwicklungen der letzten Jahre in Bürogebäuden zeigt, dass unter einem gewissen wirtschaftlichen Druck die Mehrfachnutzung selbst von Arbeitsplätzen nicht mehr tabu ist: Moderne Arbeitsplätze funktionieren als «shared desk» und persönliche Gegenstände müssen in einem «caddy» Platz finden. Eine solche Entwicklung ist in Schulen kaum in dieser Konsequenz denkbar. Angepasste innovative Nutzungskonzepte sind aber gefragt.

3.5.4 Flächenberechnungen, Berechnungen der Schülerzahlen

Die Anzahl Schülerinnen und Schüler wird in der Regel mit einer Standardbelegung gemäss Vorgaben der Stadt Zürich gerechnet. Die theoretische Kapazität liegt heute bei 22 Schülerinnen und Schülern pro Klasse. In der Realität sind die Klassengrössen unterschiedlich. Unterbelegungen sind dabei häufiger als Überbelegungen. Im Durchschnitt dürfte die effektive Klassengrösse bei knapp 20 Schüler und Schülerinnen liegen.¹⁷

Die Stadt Zürich, Immobilien-Bewirtschaftung, erfasst alle ihre Schulhäuser in einem Informatiksystem (CAFM). Die Flächen werden anhand von Planunterlagen ausgemessen. Enthalten ist die Geschossfläche GF, welche alle Flächen inklusive Aussenwände gemäss SIA 416 enthält. Diese wird unterteilt in die Konstruktionsfläche (KF) tragend und in die Nettogeschossfläche (NGF). Für die Schulen von Bedeutung ist auch die Hauptnutzfläche (HNF), welche ebenfalls erfasst wird.

Die Energiebezugsfläche (EBF) wird mittels Annäherungsformeln abgeschätzt. Es werden – je nach Datenlage – unterschiedliche Formeln angewandt. Interessant ist die Annäherung der Energiebezugsfläche über die Nettogeschossfläche: Von der Nettogeschossfläche (NGF) werden alle unbeheizten Räume abgezogen und das Resultat um 5% erhöht zur Berücksichtigung der tragenden Aussen- und Innenwände im beheizten Perimeter.¹⁸ Diese Annäherungsformel dürfte tendenziell zu tiefe Werte für die Energiebezugsfläche ergeben.

Genauere Ergebnisse liessen sich aus den vorhandenen Flächen relativ einfach generieren: Anstelle des Zuschlags von 5% soll ein Anteil der Konstruktionsfläche KF zugerechnet werden, beispielsweise $(NGF \text{ oh. beheizte Räume} / NGF) * KF$. Mit dieser Formel dürfte die beste Annäherung zu erreichen sein, da nicht beheizte Räume objektspezifisch berechnet werden. Wenn die Nettogeschossfläche ohne beheizte Räume nicht bekannt ist, wird auch die Formel « $EBF = 0.8 \times GF$ » verwendet. Eine grobe Überprüfung an einigen Objekten zeigt, dass sich diese Formel relativ gut bewährt.

¹⁷ Angabe Stadt Zürich, Schulamt, Abteilung Betrieb und Infrastruktur

¹⁸ Angabe Stadt Zürich, Immobilien-Bewirtschaftung

4 Einflusspotenzial Betriebszeiten / Auslastung

Der offizielle Schulbetrieb in Schulanlagen der Volksschule beschränkt sich auf die Zeiten mit Schulunterricht. Jährlich sind in Volksschulen 13 Wochen schulfrei. Aus diversen Gründen werden die Räume während der Heizperiode aber auch in der unterrichtsfreien Zeit beheizt (das betrifft insbesondere die Sport- und Weihnachtsferien) und elektrische Geräte und Lüftungsanlagen nicht vollständig ausgeschaltet. Hier soll abgeschätzt werden, wie gross das Einsparpotenzial an Betriebsenergie bei einem auf die Unterrichtszeiten beschränkten Betrieb der Schulanlagen wäre.

4.1 Statistische Daten zu den Nutzungszeiten

Volksschulen sind in der Regel von Montag bis Freitag ab 7 Uhr und bis rund 18 Uhr in Betrieb. In der Nacht und an den Wochenenden findet kein Unterricht statt. Diese 9 Stunden Betriebszeit pro Tag an fünf Arbeitstagen die Woche und 39 Wochen pro Jahr entspricht der typischen Nutzungszeit von Schulgebäuden gemäss SIA Norm 380/4 bzw. SIA Merkblatt 2024, welche mit 10 Stunden pro Tag während 200 Tagen im Jahr rechnet. Schulanlagen sind demnach jährlich rund 2'000 Stunden in Betrieb. Während den übrigen 6'760 Stunden des Jahres wird ein Schulhaus gemäss diesen normativen Grundlagen wenig bis gar nicht genutzt. Einem allfälligen Energieverbrauch ausserhalb der ordentlichen Nutzungszeit kommt damit eine grosse Bedeutung zu.

4.2 Auswirkungen variabler Betriebszeiten

Mit einem ausserhalb der Nutzungszeit reduzierten Betrieb lässt sich sowohl Heizwärme einsparen, als auch der Stromverbrauch senken.

4.2.1 Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf

Schulräume sind gemäss SIA 384/2 in der Heizperiode auf 21°C geheizt. Korridore ohne Schulbetrieb sind auf 16-18°C zu halten. Wenn angenommen wird, dass die Heizungen in Schulhäusern während 6 Wochen pro Schuljahr (in der unterrichtsfreien Zeit, welche auf die Heizperiode fällt) auf ein Minimum heruntergefahren würden und auch an Wochenenden (Samstag und Sonntag) nur beschränkt beheizt würden, könnte eine Reduktion des Heizwärmebedarfs um rund einen Viertel realisiert werden.¹⁹

Das hier untersuchte Szenario sieht vor, dass die Heizungsregulierung während der Heizperiode an Wochenenden und in den Schulferien auf 12°C eingestellt wird. Die Temperatur sinkt je nach Gebäudemasse unterschiedlich schnell ab. Gebäude sind träge, insbesondere wenn es sich um Massivbauten handelt, die eine grosse Speichermasse aufweisen. Die Temperaturen sinken deshalb bei eingeschränktem Heizbetrieb in der Regel relativ langsam. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass an den Wochenenden eine Temperatur von 18°C, in den Weihnachtsferien eine solche von 16°C erreicht wird. Die Heizung würde in diesem Szenario am Sonntag um Mitternacht wieder hochgefahren, so dass am Montag zu Beginn der Unterrichtszeit wieder Raumtemperaturen gemäss Richtlinien von 21°C herrschen.

Die Umsetzung dieses Suffizienzpotenzials bedeutet betriebliche und organisatorische Massnahmen. Fremdnutzungen von Schulhäusern (beispielsweise durch Vereine in Turnhallen) sollen nicht verhindert werden; es ist im Gegenteil zu begrüessen, wenn Schulhäuser besser ausgelastet sind. Eigennutzungen (wie beispielsweise Reinigungsarbeiten während der Ferien) sind aber

¹⁹ Mit SIA 380/1 kann der Heizwärmebedarf im Monatsmittel berechnet werden. Mit einer Zuweisung der Ferien- und Wochenendtage zu den Monaten kann damit eine Reduktion des monatlichen und des jährlichen Heizwärmebedarfs errechnet werden.

allenfalls anders zu organisieren, punktuell gilt dies auch für die Unterrichtsvorbereitung ausserhalb der Unterrichtszeit.

Hypothesen

Eine konsequente Reduktion der Heizleistung während der Wochenenden und während der unterrichtsfreien Zeit bringt gemäss den vorliegenden Annahmen bei effizienten Neu- und Umbauten 2 bis 8% Einsparungen an Primärenergie und Treibhausgasemissionen.²⁰ Bei einem energetisch uneffizienten Altbau ist die Reduktion mit rund 18% deutlich höher. Dies erklärt sich über die Dominanz des Energieverbrauchs für die Heizung in der gesamtenergetischen Betrachtung eines schlecht wärmegeprägten Gebäudes.

4.2.2 Auswirkungen auf den Strombedarf

Der Strombedarf in Schulen kann, wie in allen anderen Gebäudekategorien, in der nutzungsfreien Zeit nicht vollständig auf Null zurückgefahren werden. Interessant sind hier die Erkenntnisse aus der Studie *Betrieb ohne Nutzen – BON* [11] der Stadt Zürich. Untersucht wurde der elektrische Energieverbrauch ausserhalb von Nutzungszeiten. Die Analyse zeigt, dass der Stromverbrauch in den untersuchten Gebäuden aus den Sektoren Verwaltung, Schule und Pflege höher ist als der Energieverbrauch für Wärme. In der Strombilanz spielt der Verbrauch ausserhalb der Nutzungszeiten eine zentrale Rolle und birgt damit ein erhebliches Einspar-Potenzial.

Eine gewisse Stromaufnahme ist für einzelne Geräte und Anlagen auch ausserhalb der Nutzungszeiten – das heisst bei Abwesenheit von Personen und Arbeitsleistung – notwendig (z.B. Sicherheit, Lebensmittelkühlung, IKT wie Telefonanlagen). Für einen Grossteil der Elektroverbraucher aber ist der Stromverbrauch ausserhalb der Nutzungszeit gemäss der genannten Studie bei intelligentem Betrieb der Anlagen unnötig. Das Einsparpotenzial hat durchaus Suffizienz-Charakter. Es ist von Interesse, weil kaum Nutzungseinschränkungen damit verbunden sind.

Gemäss der genannten Studie ist es möglich, einen Grossteil dieser Bandenergie durch einen intelligenten Betrieb einzusparen. In Schulbauten entspricht die potenzielle Einsparung mehr als einem Fünftel des gesamten Stromverbrauchs. Gefragt ist nicht eine Änderung des Nutzerverhaltens von Schülerinnen und Schülern, sondern eine intelligente Betriebsführung. Als Konsequenz ist davon auszugehen, dass ausserhalb der offiziellen Nutzungszeiten die Räume tatsächlich nicht den üblichen Komfort bieten.

Hypothesen

Eine Reduktion des Stromverbrauchs ausserhalb der Nutzungszeiten gemäss Annahmen bringt bei effizienten Neu- und Umbauten wie auch bei energetisch uneffizienten Altbauten 2 bis 6% Einsparungen an Primärenergie und Treibhausgasemissionen.²¹

4.3 Fazit zur Einflussgrösse Betriebszeiten / Auslastung

Eine Reduktion der Heizwärmebedarfs und des Stromverbrauchs ausserhalb der Nutzungszeiten von Schulhäusern (also in der Nacht, an Wochenenden und in der unterrichtsfreien Zeit) ist eine interessante Art und Weise den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen deutlich zu senken, ohne Einschränkungen während der Nutzungszeit. Die Umsetzung der Massnahmen bedingt aber, dass die Schulen in der unterrichtsfreien Zeit tatsächlich nicht genutzt werden. Allfällig trotzdem anwesende Personen können im Winter keine komfortable Raumtemperatur erwarten, Lüftungsanlagen sind nicht in Betrieb, Geräte nicht nur auf Standby sondern vollständig

²⁰ 100% entspricht der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität gemäss SIA-Effizienzpfad Energie.

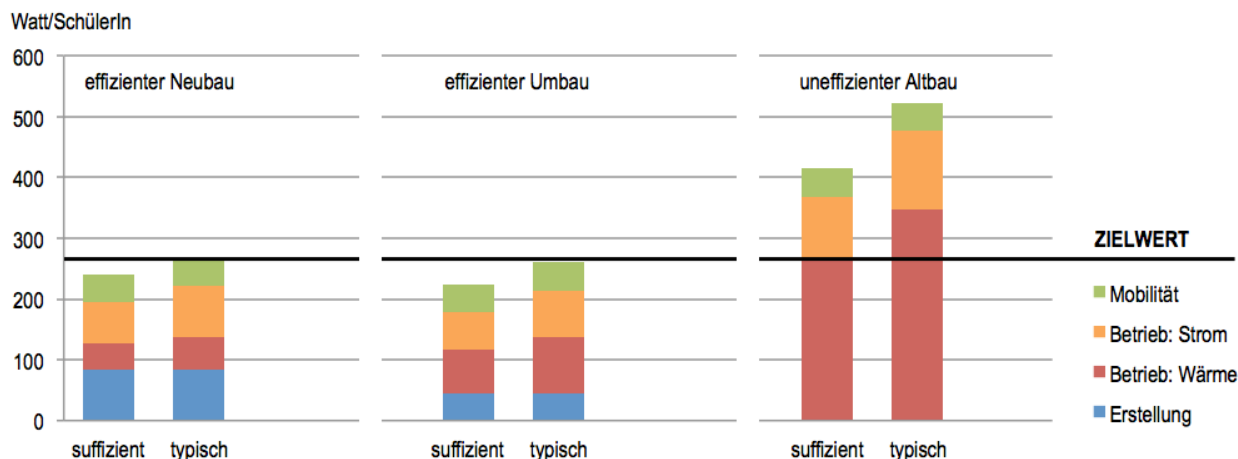
²¹ 100% entspricht der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität gemäss SIA-Effizienzpfad Energie.

ausgeschaltet. Ob und wie gut solche Massnahmen sich mit dem Betrieb vereinbaren lassen, muss geklärt werden.

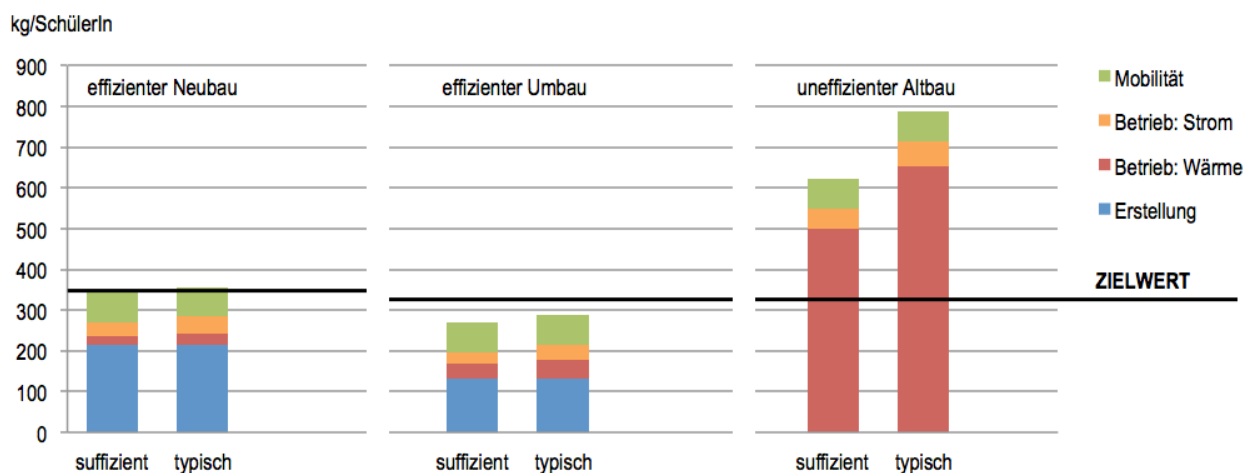
Während bei effizienten Neu- und Umbauten eine eingeschränkte Betriebszeit zu Reduktionen von maximal 10% führt, ist die Einsparung bei uneffizienten Altbauten mit 20% sehr bedeutend. Eine Beschränkung der Betriebszeiten ist deshalb insbesondere bei energetisch nicht sanierten Altbauten während der Heizperiode angezeigt.

In der folgenden Darstellung wird ein vollständiges Durchheizen über die Ferientage und im Wochenverlauf als «typisch» bezeichnet. Das Szenario «suffizient» bezeichnet einen reduzierten Heizbetrieb und Stromverbrauch während der unterrichtsfreien Zeit.

Figur 17: Szenario «typisch» bei durchgehendem Betrieb, Szenario «suffizient» bei eingeschränktem Betrieb ausserhalb der Nutzungszeiten; mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar.



Figur 18: Szenario «typisch» bei durchgehendem Betrieb ausserhalb der Nutzungszeiten, Szenarien «suffizient» bei eingeschränktem Betrieb ausserhalb der Nutzungszeiten; Treibhausgasemissionen.



Eine bessere Auslastung der Schulräume kann eine sehr sinnvolle Alternative zum vorgeschlagenen Szenario sein. Dies nicht nur, falls eine Reduktion der Heizwärmebedarfs und des Stromverbrauchs ausserhalb der unterrichtsfreien Zeit aus betrieblichen Gründen nicht umsetzbar ist. Durch die verstärkte Nutzung von Schulräumen ausserhalb des eigentlichen Schulbetriebs, lässt sich zwar am Gebäude selbst keine Einsparung erzielen. Die bessere Auslastung von bestehenden Raumangeboten führt aber in einer über das einzelne Gebäude hinaus gedachten Dimension – beispielsweise im Quartier oder in einer Gemeinde – zu sinnvollen Synergien. Fremdnutzungen können auf die bestehende Infrastruktur in Schulgebäuden zurückgreifen und müssen nicht selber entsprechende Räume erstellen und betreiben, die ihrerseits wieder nicht gut ausgelastet wären. Das Prinzip führt zu einer hohen Flächeneffizienz dank Mehrfachnutzungen.

4.4 Beispiel Stadt Zürich: Betriebszeiten / Auslastung in Schulen

Aus diversen Gründen werden die Räume in den städtischen Schulanlagen auch in der unterrichtsfreien Zeit teilweise genutzt, beheizt und die Betriebseinrichtungen nicht vollständig ausgeschaltet. Ferienhorte, Unterrichtsvorbereitung, Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten an der IT-Ausstattung oder Reinigungsarbeiten finden beispielsweise ausserhalb der Unterrichtszeit statt.

Wo möglich werden zwar die Raumtemperaturen in Schulhäusern ausserhalb der Betriebszeiten gesenkt, die Eigen- und Fremdnutzung der Schulen in den Ferien und teilweise auch an Wochenenden verhindert aber die Umsetzung dieses Einsparpotenzials in der vorgeschlagenen Konsequenz. Gute Erfahrungen werden durch Betriebsoptimierungen in den grossen städtischen Schulanlagen gemacht.

4.4.1 Wärme

Durch einen stadträtlichen Beschluss wurde das Absenken der Raumtemperaturen ausserhalb der Betriebszeiten in der Stadt Zürich festgelegt und probeweise ab der Heizperiode 2006/2007 umgesetzt. Das Dokument *Raumtemperatur-Richtlinie 2006* [13] beschreibt das Vorgehen:

"Ausserhalb der Betriebszeiten, an Wochenenden und über Feiertage, sind die Raumtemperaturen abzusenken (Heizung aus oder Vorlaufemperatur absenken), soweit die bauphysikalischen Rahmenbedingungen eingehalten sind. In der Regel soll dabei eine Raumtemperatur von 16°C nicht unterschritten werden."

Die Schulleitung hat dabei die Aufgabe wöchentlich einen Belegungsplan für die Folgewoche zu erarbeiten, so dass die Leiterin oder der Leiter Hausdienst & Technik entsprechend dem Belegungsplan heizen kann. Die Umsetzung der Richtlinie wird derzeit ausgewertet²². Die Ergebnisse sind im Frühjahr 2014 zu erwarten. Das Vorgehen mit wöchentlich ändernden Belegungsplänen hat sich tendenziell als schwerfällig erwiesen. Besser scheinen sich Vereinbarungen zwischen Betreiber und den einzelnen Schulen zu bewähren²³.

Eine Schwierigkeit bei der Umsetzung dieses Suffizienzpotenzials liegt darin, dass einerseits die Schulräume vom Schulpersonal auch in der unterrichtsfreien Zeit als Arbeitsplatz genutzt werden. Andererseits ist in den kurzen Ferien von zwei Wochen die erste Woche in der Regel für Reinigungsarbeiten reserviert. Der Heizbetrieb wird deshalb aufrechterhalten.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Optimierung liegt in der Fremdnutzung von Schulhäusern durch Vereine (insbesondere Turnhallen), der Eigennutzung durch Ferienhorte und der Tatsache, dass Bibliotheken oft auch am Samstag geöffnet bleiben. Eine Temperatursenkung ist in solchen Fällen nur möglich, wenn die an Wochenenden benutzten Räume über einen eigenen Heizkreislauf verfügen.

4.4.2 Stromverbrauch

Der Energieverbrauch in Schulhäusern der Stadt Zürich ist gut dokumentiert und wird durch die Immobilien-Bewirtschaftung im Rahmen von Betriebsoptimierungen konsequent verfolgt. Die Grossverbraucher unter den Schulhäusern (rund ein Drittel der Bauten) sind heute bereits optimiert. Die «Immo-Box» als Datensammler vor Ort misst die effektiven Verbräuche und lässt Rückschlüsse zu auf Abhängigkeiten zwischen Nutzung, Nutzungszeiten und Energieverbrauch. In der Betriebsoptimierung der kleineren Anlagen liegt aber weiterhin ein relevantes Einsparpotenzial.

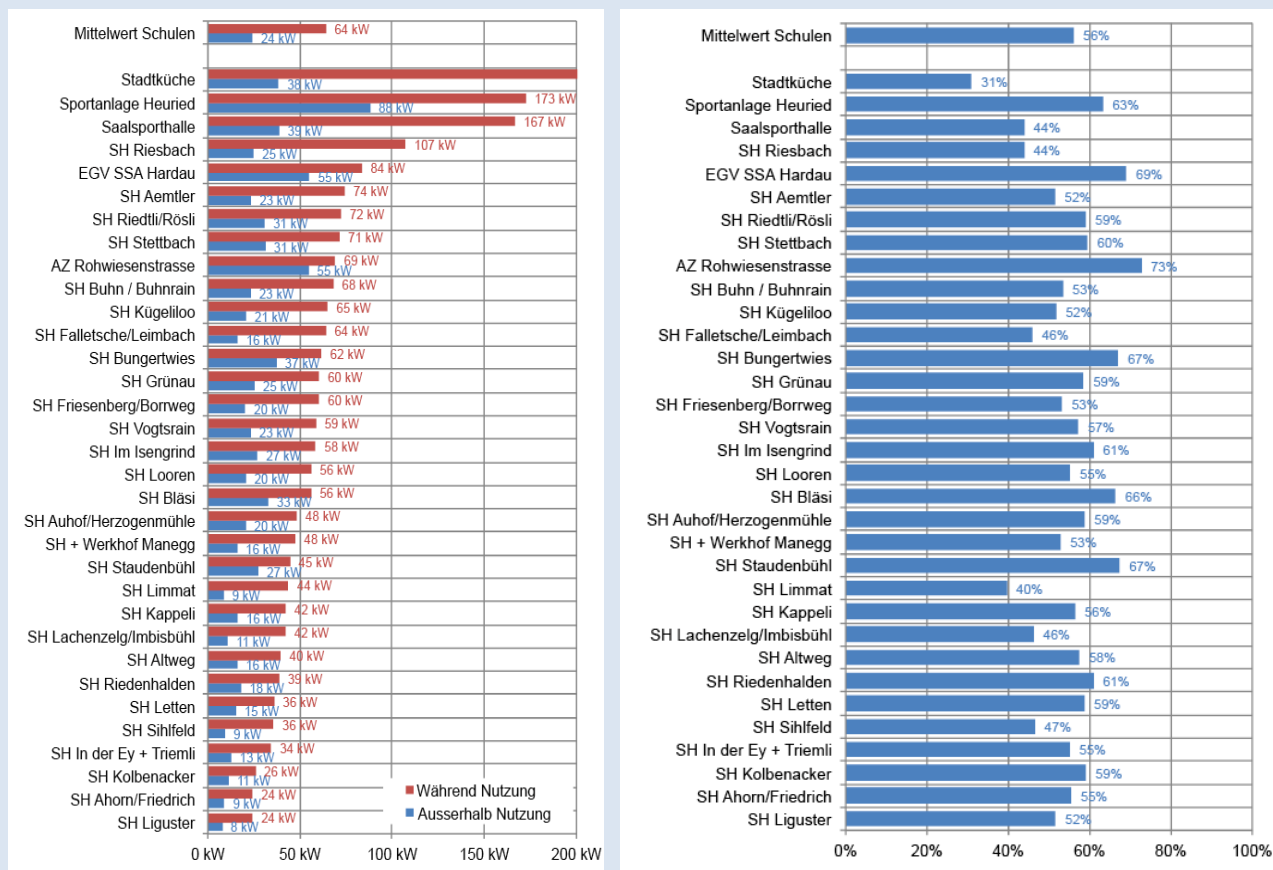
Die Studie *Betrieb ohne Nutzen – BON* [11] der Stadt Zürich hat den Stromverbrauch von 33 städtischen Schulhäusern analysiert²⁴:

²² Auswertung unter der Leitung Umwelt- und Gesundheitsschutz, Stadt Zürich

²³ Gemäss Erfahrung der Immobilien-Bewirtschaftung (Betriebsoptimierung), Stadt Zürich

²⁴ Die untersuchten Schulhäuser verfügen teilweise über Schulschwimmanlagen

Figur 19: Mittlere Leistung und Anteil Stromverbrauch ausserhalb der Nutzungszeiten in Schulbauten der Stadt Zürich (Quelle: Betrieb ohne Nutzen – BON, Abbildungen Seite 14 und 15).



Mehr als die Hälfte des Stromverbrauchs in den untersuchten städtischen Schulen entfällt auf die unterrichtsfreie Zeit. Dies obwohl die benötigte Leistung während der Nutzungszeit deutlich grösser ist: Die leistungsintensive effektive Unterrichtszeit beträgt gemäss den Annahmen der Studie BON nur rund einen Drittel der gesamten Jahresstunden.

Wie weit der Stromverbrauch ausserhalb der Nutzungszeit reduziert werden könnte und mit welchen konkreten Massnahmen dies verbunden wäre, geht aus der genannten Studie nicht hervor. Eine konkrete Analyse wäre hilfreich und wurde in der Studie *Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit (BaN)* für das Amtshaus 3 durchgeführt [12]. Es darf davon ausgegangen werden, dass die Beleuchtung ausserhalb der Nutzungszeit relativ einfach zu optimieren ist bzw. bereits optimiert wird. Dagegen dürfte beim automatischen Betrieb von Lüftungsanlagen, den Steuerungen (beispielsweise von Sonnenstoren) und insbesondere beim Gerätebetrieb ein grösseres Potenzial liegen.

Stadtinterne Vorgaben des OIZ (Organisation und Informatik Stadt Zürich) verlangen beispielsweise, dass Computer zu Ferienbeginn heruntergefahren werden. Vom Netz getrennt werden dürfen sie jedoch nicht, da in den Ferien jeweils Backups durchgeführt werden. Offenbar können die zu diesem Zweck aus dem Ruhezustand «geweckten» Geräte anschliessend nicht mehr vollständig heruntergefahren werden. Könnten solche Unterhaltsarbeiten auf Wochenenden programmiert werden, wäre es möglich, Computer zu Ferienbeginn komplett vom Netz zu trennen und damit unnötigen Standby-Verbrauch zu minimieren.

5 Einflusspotenzial Nutzerverhalten

Schülerinnen und Schüler aber auch Lehrpersonen können durch ihr alltägliches Verhalten den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen in Schulgebäuden massgeblich beeinflussen. Schulen mit ihrem pädagogischen Auftrag und als Lernfeld für Kinder und Jugendliche eignen sich ausserordentlich gut, um solche Verhaltensweisen zu üben und Schülern und Schülerinnen die Konsequenzen ihres Tuns aufzuzeigen.

5.1 Statistische Daten zum Nutzerverhalten

Statistische Daten, welche das Nutzerverhalten von Schülerinnen und Schülern beziehungsweise von Lehrpersonen beschreiben, sind kaum bekannt. Einzig die Dichte an Informations- und Kommunikationstechnologie in Schulanlagen wird seit einigen Jahren statistisch erfasst.

Auswirkungen eines unterschiedlichen Nutzerverhaltens auf die verschiedenen Verwendungszwecke im Betrieb sind deshalb weitgehend Hypothesen, welche sich auf Standardannahmen beziehen, wie sie in Normen und Verordnungen vorliegen. Die Standardannahmen gehen immer von einem vernünftigen Verhalten aus: gelüftet wird nur kurz, geheizt wird auf eine korrekte Raumtemperatur, die Beleuchtung ist nur eingeschaltet, wenn das Tageslicht nicht ausreicht und Geräte sind nur in Betrieb, wenn sie tatsächlich genutzt werden. Ein Grossteil dieses Energieverbrauchs ist technisch gesteuert und kann durch individuelles Verhalten nicht stark verändert werden.

5.2 Auswirkungen des Nutzerverhaltens pro Verwendungszweck

5.2.1 Raumwärme

Schulräume sind gemäss SIA 384/201 in der Heizperiode auf eine Raumlufthtemperatur von 21°C geheizt. Korridore ohne Schulbetrieb sind auf 16-18°C zu halten, Korridore mit Schulbetrieb auf 21°C, wenn dies technisch machbar ist. In Turnhallen, Treppenhäuser und Toiletten müssen Temperaturen von 16°C ausreichen. Eine solche Differenzierung bedingt aber Heizkreisläufe, die getrennt geführt sind und entsprechend geregelt werden können bzw. den Einbau von so genannten Zonenventilen. Es ist zu bedenken, dass über die Trennwände zwischen Räumen höherer und niedriger Temperatur ein stetiger Austausch geschieht, sofern diese nicht gegenseitig gedämmt sind. Zudem stehen die Zimmertüren in Schulhäusern oft offen. Eine konsequente Abgrenzung unterschiedlicher Temperaturzonen kann deshalb nur beschränkt gelingen.

In effizienten Neubauten und Umbauten kann das vorgeschriebene Temperaturniveau meist gut gehalten werden. Die Raumtemperatur wird technisch geregelt und überwacht. Idealerweise sind Räume mit gleichem Temperaturniveau gruppiert angeordnet. Bei gut wärmegeprägten Gebäuden decken die Sonneneinstrahlung und die internen Lasten einen wesentlichen Teil des Heizwärmebedarfs. Die Ausnützung bzw. Abschirmung der Sonneneinstrahlung kann ebenfalls gesteuert werden. Den überwiegenden Anteil der internen Lasten leisten die Schüler und Schülerinnen mit ihrer blossen Anwesenheit (Personenabwärme). Die internen Lasten sind teilweise vom Nutzerverhalten abhängig, weit stärker dürfte aber die Gerätewahl wiegen: Sehr sparsame Geräte geben wenig Wärme ab.

In energetisch nicht sanierten Altbauten kommen Abweichungen von den Standardtemperaturen weitaus häufiger vor. Bei ungenügend gedämmten Gebäuden, älteren, überhohen oder undichten Fenstern kann eine Erhöhung der Raumtemperatur um 1-2°C erforderlich sein, um eine entsprechende Komforttemperatur bei «kalten Oberflächen» in den Schulräumen zu erreichen. Wenn die Heizung die entsprechende Leistung hergibt, werden deshalb in älteren Schulhäusern die Raumtemperaturen erhöht. Wenn die Heizung nicht genügend Reserve hat, um die Temperatur auf

höherem Niveau zu halten, besteht die Versuchung, durch elektrische Heizgeräte lokal nachzu-
helfen.

Das Potenzial von Suffizienz durch tiefere Temperaturen, als es die Standardannahmen nach
SIA vorgeben, dürfte eher klein sein. Das Potenzial von «verschwenderischem» Verhalten durch
erhöhte Raumtemperaturen hingegen ist gross und dürfte in der Realität oft ausgenützt werden.

Grundsätzlich gelten die gleichen Abhängigkeiten von den Raumtemperaturen und dem Heiz-
wärmebedarf wie bei Wohnbauten: Jedes zusätzliche Grad Raumwärme führt zu einer sehr deut-
lichen Zunahme des Heizwärmebedarfs.

Figur 21: Prozentuale Veränderung des Heizwärmebedarfs gemäss SIA 380/1 aufgrund Abweichungen von der Stan-
dardraumtemperatur in Abhängigkeit vom Wärmedämmstandard des Gebäudes (vgl. [1], Kapitel 4.1.1)

Wärmedämmniveau	Veränderung des Heizwärmebedarfs
Altbau bis ca. 1980, energetisch unsaniert	+/- 6.5 % pro K
Grenzwerte SIA 380/1 Ausgabe 2001	+/- 11,0 % pro K
Grenzwerte SIA 380/1 Ausgabe 2009	+/- 11,5 % pro K
Zielwerte SIA 380/1 Ausgabe 2009	+/- 13,0 % pro K

Hypothesen

In Neubauten und effizienten Umbauten ist suffizientes oder verschwenderisches Verhalten im
Bereich der Heizung von untergeordneter Bedeutung. In der folgenden Berechnung wird als suf-
fizientes Verhalten eine Raumlufttemperatur von 20°C eingesetzt, was einer Senkung um 1°C
gegenüber den Standardvorgaben entspricht.²⁵

In energetisch uneffizienten Altbauten ist das Potenzial zu verschwenderischem Verhalten gross:
Überhöhte Raumtemperaturen werden aus Komfortgründen forciert. In der folgenden Berech-
nung wird im Szenario «verschwenderisch» eine Raumlufttemperatur von 24°C eingesetzt, was
einer Erhöhung von 3°C gegenüber den Standardvorgaben entspricht.²⁶

5.2.2 Lüftung

Während in neueren Schulanlagen in der Regel mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerück-
gewinnung installiert werden, wird in Altbauten in der Regel natürlich gelüftet. Der nachträgliche
Einbau von Lüftungsanlagen bei der Modernisierung von Schulhausbauten kann sehr aufwändig
sein, Patentrezepte fehlen, vgl. dazu *Lüftung für Schulen* [14]. Das Lüften über die Fenster ist in
solchen Schulbauten zwingend notwendig um eine ausreichende Luftqualität zu gewährleisten.
Typischerweise werden die Fenster in den Pausen zwischen zwei Unterrichtslektionen geöffnet.
Diese Lüftungsmethode ist bewährt, allerdings sinkt die Luftqualität in gut besetzten Schulzim-
mern schon nach 20 Minuten, es müsste also eher häufiger gelüftet werden. In älteren Bauten
sind auch Kippfenster, oft im Bereich der Oberlichtfenster häufig anzutreffen, während diese in
Neubauten kaum mehr vorgesehen sind.

Hypothesen

In Neubauten mit einer kontrollierten Lüftungsanlage ist suffizientes oder verschwenderisches
Verhalten im Bereich der Lüftung von untergeordneter Bedeutung, vorausgesetzt, die Anlagen
werden korrekt und effizient betrieben.

In Umbauten ohne kontrollierte Lüftungsanlage und in energetisch uneffizienten Altbauten ist ein
korrektes Lüftungsverhalten entscheidend. Das Suffizienzpotenzial ist gering, das Potenzial von

²⁵ In den Berechnungen ist eine Senkung des Heizwärmebedarfs um 11% bei effizienten Neu- und Umbauten einge-
setzt und um 6% bei energetisch nicht effizienten Altbauten.

²⁶ In den Berechnungen ist eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs um 33% bei effizienten Neu- und Umbauten einge-
setzt und um 18% bei energetisch nicht effizienten Altbauten.

verschwenderischem Verhalten aber gross: Insbesondere das Schliessen von Kippfenstern geht gerne vergessen. Während der Heizperiode können Räume dadurch schnell ausgekühlt werden.

In der folgenden Berechnung ist für suffizientes Verhalten keine Reduktion eingesetzt, für verschwenderisches Verhalten werden die Lüftungsverluste verdoppelt, was sich in einem erhöhten Heizwärmebedarf ausdrückt.²⁷

5.2.3 Warmwasser

Warmwasser wird in Schulhäusern in der Regel nicht in den Klassenzimmern angeboten, sondern ausschliesslich in Putzräumen, Werkräumen, Garderoben in Schulanlagen mit Turnhallen und in den Küchen der Betreuungsräume. Der Warmwasserbedarf in Schulanlagen ist entsprechend klein.

Hypothesen

Die Auswirkungen des Nutzerverhaltens beim Warmwasserverbrauch sind klein und zwar sowohl bei suffizientem als auch bei verschwenderischem Verhalten ausgehend von einem Standardnutzerverhalten. Es wird hier deshalb nicht weiter untersucht.

5.2.4 Hilfsenergien

Elektrische Hilfsenergien für die Heizung und weitere Betriebseinrichtungen sind zentrale oder dezentrale Einrichtungen, die ausschliesslich durch die Gebäudetechniker reguliert werden.

Hypothesen

Das Nutzerverhalten hat keinen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Emissionen im Verwendungszweck Hilfsenergien.

5.2.5 Beleuchtung

Die Beleuchtung in Schulhäusern wird vollständig bauseits montiert und von den Betreibern erneuert. Bauherrschaft und Betreiber nehmen Einfluss auf die Beleuchtungsstärke, die Ausstattung mit Leuchten und ihre Effizienz. Der grösste Einflussbereich der Nutzer besteht in der Nutzungsdauer der installierten Beleuchtungsanlagen.

Neuere Beleuchtungsanlagen werden in Schulhäusern in der Regel gesteuert: Die Lichter gehen automatisch aus, wenn sich niemand im Raum befindet. Sie können aber auch manuell abgeschaltet werden. Damit kann Energie gespart werden. Es entfällt damit aber auch ein Übungsfeld für Schüler und Schülerinnen, sich ein suffizientes Verhalten anzueignen.

In wenig technisierten Altbauten ist die Beleuchtung der weitaus wichtigste Stromverbraucher im Betrieb. Ältere Beleuchtungsanlagen sind nicht gesteuert. In Klassenräumen funktioniert das Lichterlöschen meist zuverlässig. Lehrpersonen achten darauf, dass Schülerinnen und Schüler Räume nicht verlassen, ohne den Taster zu drücken. In weniger kontrollierten Räumen und in Räumen ohne geregelte Zuständigkeiten bleiben Lichter aber oft eingeschaltet, beispielsweise in Toiletten.

Hypothesen

Wenn die Beleuchtung in effizienten Neu- und Umbauten über technische Massnahmen reguliert wird und Lichter aufgrund von Bewegungsmeldern automatisch gelöscht werden, ist das Potenzial von Suffizienz oder auch deren Gegenteil gering.²⁸

In nicht regulierten Gebäuden wird die Beleuchtung individuell durch die Schülerinnen und Schüler sowie durch die Lehrpersonen ein- und ausgeschaltet. Im Szenario «suffizient» kann der Strombedarf für die Beleuchtung durch konsequentes Lichterlöschen um rund einen Fünftel verringert werden. Im Szenario «verschwenderisch» werden die Lichter nicht gelöscht, auch wenn

²⁷ In den Berechnungen ist eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs um 20 MJ/m² eingesetzt.

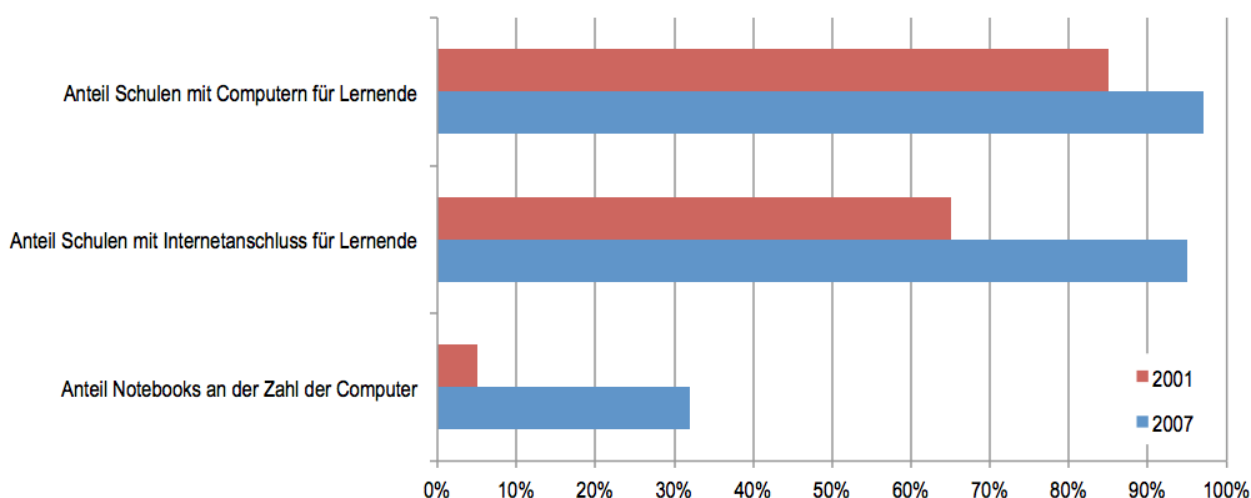
²⁸ In der folgenden Berechnung ist bei effizienten Um- und Neubauten +/-5% eingesetzt.

es die Tageslichtverhältnisse zulassen oder sich niemand im Raum befindet. Die Betriebszeiten und der Stromverbrauch für die Beleuchtung können sich dadurch mehr als verdoppeln.²⁹

5.2.6 Betriebseinrichtungen

Während Kopiergeräte und Drucker in Schulen seit längerer Zeit selbstverständlich sind, sind in den letzten Jahren vermehrt Geräte aus dem Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) zur Standardausrüstung in Schulhäusern geworden. Es ist «...eine der Aufgaben der Schulen, die Schülerinnen und Schüler mit den neuen Technologien vertraut zu machen», wie das Bundesamt für Statistik auf seiner Homepage schreibt. Im Jahr 2007 sind gemäss Bundesamt für Statistik nahezu alle Schulen des Landes mit Computern ausgestattet, die im Unterricht benutzt und/oder die den Lernenden zur Verfügung gestellt werden. Über eine Internetverbindung verfügen 95% der Schulen.

Figur 22: IKT-Infrastruktur an den Volksschulen. Darstellung aus Bundesamt für Statistik (Quelle: OFS/IWS 2001; CTIE/IMS 2007, © OFS).



Diese Entwicklung führt klar zu einem höheren Energieverbrauch. Umso wichtiger sind der Einsatz energieeffizienter Geräte und die Beachtung eines kleinen Standby-Verbrauchs. Ob und wie Geräte bedient werden, ob sie nach Gebrauch ausgeschaltet werden oder eingeschaltet bleiben, ist weitgehend unbekannt.

Hypothesen

Das Potenzial von Suffizienz in diesem Bereich liegt darin, Geräte zu teilen (Einsparung von Grauer Energie) und nach Gebrauch konsequent auszuschalten. Als typisches Verhalten wird hier angenommen, dass Computer und weitere elektrische Geräte jeweils morgens ein- und abends ausgeschaltet werden. Durch konsequentes Ausschalten nach Gebrauch (Szenario «suffizient») kann im Vergleich zum Szenario «typisch» der Stromverbrauch für die Geräte um rund einen Fünftel reduziert werden. Werden Geräte nicht ausgeschaltet und die Zeitspanne, bis sie in den Energiesparmodus fallen erhöht, kann leicht eine Verdoppelung des Stromverbrauchs für den Gerätebetrieb möglich werden (Szenario «verschwenderisch»). Dies geschieht vor allem dann, wenn die Geräte nicht einem bestimmten Nutzer zugeordnet sind (Kopierer, Drucker, Computer in Computerräumen, Kaffeemaschinen).

Im Schulalltag wird immer mehr Informations- und Kommunikationstechnologie eingeführt und auch Internet-Anschlüsse stehen heute selbstverständlich zur Verfügung. Ein Verzicht darauf wird nicht als Suffizienz-Potenzial angesehen. Eine weitere Zunahme der den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung stehenden Geräte wird aber als Potenzial für einen Mehrverbrauch ein-

²⁹ In der folgenden Berechnung ist bei nicht effizienten Altbauten -20% und +60% eingesetzt. Die Werte sind abgeleitet aus der Studie [1], Tabelle 10. Es wird angenommen, dass die Varianz bei Schulbauten nur knapp halb so gross ist, wie bei Wohnbauten.

gerechnet (Szenario «verschwenderisch»). Was hier noch als «verschwenderisch» bezeichnet wird, dürfte allerdings in naher Zukunft als «typisch» gelten: Beispielsweise wird für die Mehrheit der Schüler und Schülerinnen wohl schon bald ein eigenes Notebook zur Verfügung stehen.

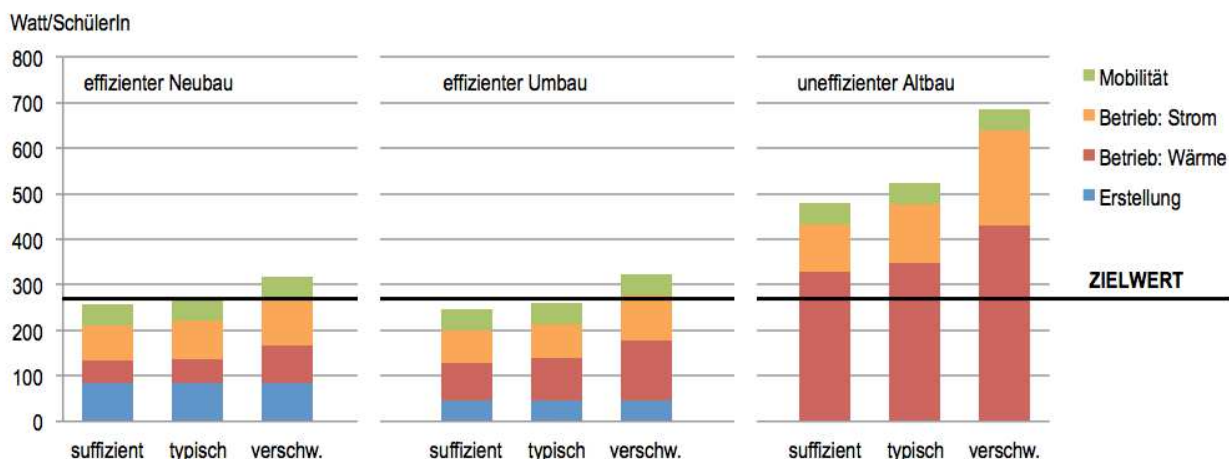
5.3 Fazit zur Einflussgrösse Nutzerverhalten im Betrieb

Der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch im Betrieb ist gross, wobei das Suffizienz-Potenzial geringer ist, als das Potenzial von verschwenderischem Verhalten. In Neubauten geht die Tendenz in Richtung Steuerung und Automatisierung, was in der Regel zu einer Einsparung des Energieverbrauchs führt. Allerdings darf der Stromverbrauch für die Gebäudeautomatik nicht unterschätzt werden. Eine wohl nicht beabsichtigte Folge solcher technischer Lösungen ist, dass ein angepasstes Nutzerverhalten weitgehend unnötig wird.

Im Szenario «suffizient» verringern sich dank eines entsprechenden Nutzerverhaltens die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen um 3-8%³⁰. Das Potenzial ist deshalb so klein, weil die Standardannahmen («typisch») bereits einen zurückhaltenden Einsatz von Geräten und Beleuchtungen vorsehen und weil vieles nicht im Einflussbereich der Nutzer liegt. Insbesondere – und dies im Unterschied zu Wohngebäuden – wird die Ausstattung der Schulräume mit Leuchten und Geräten nicht durch die Nutzer (Lernende und Schulpersonal) gestellt, sondern durch die Bauherrschaften und Betreiber der Schulen bestimmt.

Im Szenario «verschwenderisch» – erhöhte Raumtemperaturen, falsches Lüftungsverhalten, ausserhalb der Nutzungszeit eingeschaltete Lichter und eine grössere Anzahl und öfters nicht ausgeschaltete Geräte – verschlechtert sich die Gesamtbilanz an Primärenergie und Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Szenario «typisch» sehr deutlich. Bei der Primärenergie ist mit einem Mehrverbrauch von 20% bei effizienten Neu- und Umbauten zu rechnen und mehr als 30% bei nicht effizienten Altbauten. Bei den Treibhausgasemissionen führt verschwenderisches Verhalten bei effizienten Neu- und Umbauten zu einer Zunahme von 8%, bei nicht effizienten Altbauten von knapp 30%.³¹

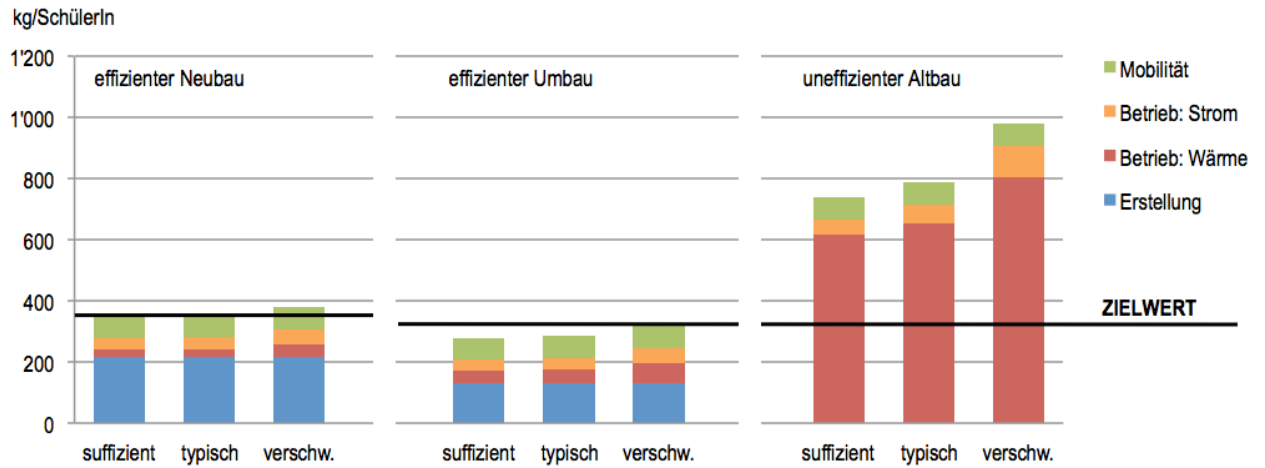
Figur 23: Einfluss eines variablen Nutzerverhaltens im Betrieb in den Szenarien «typisch», «suffizient» und «verschwenderisch»; mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar



³⁰ 100% entspricht der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität gemäss SIA-Effizienzpfad Energie im Szenario «typisch».

³¹ Bei allen Prozentangaben entspricht 100% der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität gemäss SIA-Effizienzpfad Energie im Szenario «typisch».

Figur 24: Einfluss eines variablen Nutzerverhaltens im Betrieb in den Szenarien «typisch», «suffizient» und «verschwenderisch»; Treibhausgasemissionen.



Das Potenzial von suffizientem Nutzerverhalten im Betrieb ist damit kleiner als jenes von reduzierten Betriebszeiten und jenes einer suffizienten Personenfläche. Dies gilt insbesondere für effiziente Neu- und Umbauten, bei denen die Beleuchtung geregelt ist und der Wärmebedarf aufgrund der gut gedämmten Gebäudehülle klein ist. Der Effekt von verschwenderischem Nutzerverhalten im Betrieb ist dagegen gross, insbesondere bei energetisch nicht effizienten Altbauten.

5.4 Beispiel Stadt Zürich: Nutzerverhalten im Schulbetrieb

In der Stadt Zürich wird auf Betriebsoptimierungen grosser Wert gelegt. Wo möglich werden die gebäudetechnischen und betrieblichen Anlagen technisch gesteuert und automatisiert. Verschwenderisches Verhalten kann dadurch weitgehend verhindert werden.

Über das ganze Portfolio gesehen dürften die städtischen Schulen einen Teil dieses Suffizienzpotenzials bereits umsetzen und damit etwas unter dem gesamtschweizerischen Durchschnitt liegen. Das liegt insbesondere an den klaren Vorgaben und Standards für die gebäudetechnischen Anlagen.

5.4.1 Klare Vorgaben und hoher Steuerungsgrad

Klare Standards für die Gebäudetechnik in Klassenzimmern sorgen in der Stadt Zürich für eine einheitliche Umsetzung. Sie müssen zwingend bei Neubauten und bei umfassendem Ersatz von gebäudetechnischen Installationen umgesetzt werden. Bei Instandsetzungen ist die Umsetzung auf ihre Verhältnismässigkeit zu prüfen. Das Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik zeichnet für den Standard verantwortlich und aktualisiert diesen laufend aufgrund der gemachten Erfahrungen. Er wird im Bericht *Raummodul Klassenzimmer – Standard Gebäudetechnik* [15] publiziert. Die Immobilien-Bewirtschaftung misst die Verbrauchswerte und führt bei grösseren Schulanlagen Betriebsoptimierungen durch.

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Versuch, durch die Betriebsweise der technischen Anlagen ein suffizientes Nutzerverhalten zu fördern, beziehungsweise ein verschwenderisches Verhalten zu verhindern. Die Anlagen verfügen neben der Möglichkeit zur Handbedienung zusätzlich über Steuerungen: Dies gilt insbesondere für die Beleuchtung und für die Bedienung des Sonnenschutzes. Beleuchtungsanlagen sind so gesteuert, dass die Lichter manuell eingeschaltet werden müssen und diese automatisch ausschalten, wenn sich niemand im Raum befindet. Sie können aber auch manuell abgeschaltet werden. Schulräume werden auf 21°C geheizt, Treppenhäuser und Korridore auf 16°C. Die Nutzer können im Gegensatz zu den Betreibern diese Temperatur nicht selbständig erhöhen. Bei ungenügend gedämmten Gebäuden und überhohen oder undichten Fenstern erlauben die internen Richtlinien allerdings eine Erhöhung bis auf 23°C, um eine entsprechende Komforttemperatur zu gewährleisten. Bei engen Platzverhältnissen und fehlenden Gruppenräumen werden zum Teil auch Korridore für Gruppenarbeiten genutzt. In diesem Fall wird von den Nutzern offenbar ein tieferer Komfort akzeptiert. Nicht von Hand eingreifen kann man gemäss Standard bei der Lüftung, die bei den neuesten Schulanlagen installiert werden. Sie sind bedarfsgerecht über CO₂-Fühler oder Präsenzmelder gesteuert. Selbstverständlich können die Fenster jederzeit manuell geöffnet werden, unabhängig davon, ob die Räume von einem Lüftungssystem versorgt werden, oder nicht.

Die Kombination von begrenzten individuellen Eingriffsmöglichkeiten und kontrollierten technischen Steuerungen dürfte vor allem dazu führen, dass ein verschwenderisches Nutzerverhalten verhindert wird. Dieser Effekt ist äusserst wertvoll. Rückmeldungen aus dem Schulbetrieb deuten aber auch darauf hin, dass die gewählten Einstellungen bei einem hohen Technisierungsgrad ohne individuelle Einflussmöglichkeiten nicht immer gut akzeptiert werden. Das Beispiel von Schülerinnen und Schülern, welche durch zu häufiges Auf und Ab automatisierter Sonnenstoren abgelenkt werden, weist dabei eher auf schlecht eingestellte Steuerungen hin, als auf unberechtigte Ansprüche.

5.4.2 Messwerte mit grosser Spannweite

Auswertungen zeigen, dass der Stromverbrauch in den städtischen Schulen zwischen 40 kWh/m² und 12 kWh/m² beträgt³². Zum Vergleich: gemäss SIA-Effizienzpfad Energie ist in effizienten Schulbauten mit 20 kWh/m² zu rechnen. Die Spannweite der Messwerte ist mit Faktor 4 gross, und zwar sowohl beim Wärmebedarf als auch beim Strombedarf. Neubauten wie das Schulhaus

³² Interne Auswertungen der Immobilien-Bewirtschaftung der Stadt Zürich, Verbrauchsdaten 2011/2012

Im Birch schliessen beim gemessenen Stromverbrauch (Messperiode 2012) eher gut ab, es gibt aber auch ältere Schulbauten, die noch tiefere Werte erreichen. Es darf davon ausgegangen werden, dass diese zumindest im Bereich der Beleuchtung und der Betriebseinrichtungen auf den neuesten technischen Stand aufgerüstet wurden.

Der Stromverbrauch in den städtischen Schulen wird bei rund einem Drittel der Schulhäuser, den Grossverbrauchern, durch die Immobilien-Bewirtschaftung kontrolliert und im Rahmen von Betriebsoptimierungen positiv beeinflusst. Dass damit der Stromverbrauch insgesamt abnehmen wird, ist aber nicht die zwingende Folge. Zukünftig könnte der Stromverbrauch, der heute durch die Beleuchtung dominiert wird, durch die zunehmende Anzahl elektrische Betriebseinrichtungen bzw. durch eine häufigere Nutzung dieser Geräte steigen. In der Stadt Zürich wurden im Verlaufe der letzten Jahre mehrere neue Richtlinien erlassen, welche diesen Trend illustrieren:

- KITS 2 (2008): Die städtischen Schulhäuser erhalten eine aktuelle und moderne IT-Infrastruktur. Der Lebenszyklus der IT-Infrastruktur in Schulen wird mit 4 Jahren angenommen, entsprechend ist periodisch neu zu definieren, was im IT-Bereich aktuell zur Verfügung gestellt wird.
- KITS 3 (2013): Im Rahmen von KITS 3 wurde entschieden in den Klassenzimmern der städtischen Schulen WLAN zu installieren, sowie 4 Notebooks pro Klassenzimmer anstelle von 2 Computer-Feststationen zur Verfügung zu stellen. Alle Schülerinnen und Schüler erhalten eine persönliche Mailbox mit einer einheitlichen Adresse.
- Videoüberwachung: Um potenzielle Vandalen von Sachbeschädigungen abzuhalten, können die Schulanlagen der Stadt Zürich mit einer Videoüberwachungsanlage an der Aussenfassade und im Eingangsbereich versehen werden. Basis ist das «Reglement für den Einsatz von Videoüberwachung bei Schulgebäuden und -anlagen» der Stadt Zürich (410.200, Inkraftsetzung ab 23.11.2009). Aufzeichnungen erfolgen nur ausserhalb der Schulbetriebszeiten.

Der Wärmebedarf der Schulbauten verteilt sich ebenfalls in einem weiten Feld mit Faktor 4 zwischen dem kleinsten und den grössten gemessenen Werten. Insgesamt dürfte sich der unterschiedliche Wärmebedarf vor allem aufgrund des jeweiligen Dämmstandards der Gebäude erklären. Neubauten mit ihrem guten Dämmstandard stellen im städtischen Portfolio rund 8% der Flächen – entsprechend hoch ist der Anteil an energetisch nicht effizienten Altbauten, bei denen ein verschwenderisches Verhalten zu überproportionalen Emissionen und Energieverbräuchen führt. Dass verschwenderisches Verhalten gerade in diesen wenig technisierten Altbauten vorkommt, belegen Beobachtungen und Messwerte. Kippfenster sind in älteren Schulhäusern noch weit verbreitet. Das Schliessen dieser Oberlichtfenster geht oft vergessen, insbesondere in Räumen, für die sich niemand verantwortlich fühlt. Mehrere Personen bestätigen, dass in älteren Schulhäusern Elektroheizgeräte stehen, welche zum Einsatz kommen, sobald abends und an Wochenenden die Raumtemperaturen gedrosselt werden. Dies könnte den in seltenen Ausnahmefällen auffällig hohen Stromverbrauch in älteren, wenig technisierten Altbauten erklären.

6 Einflusspotenzial Mobilität

Schülerinnen und Schüler gehen in der Regel zu Fuss oder fahren mit dem Velo zur Schule. Dies gilt insbesondere für die Primarstufe. Ein Grossteil des Energieverbrauchs im Bereich Mobilität wird damit durch die Lehrpersonen verursacht.

6.1 Statistische Daten zum Nutzerverhalten

Gemäss Merkblatt SIA 2039 *Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort* [5] legen Primarschülerinnen und -schüler in der Schweiz durchschnittlich 426 Personenkilometer pro Jahr zurück, knapp die Hälfte davon zu Fuss oder mit dem Fahrrad. Schüler und Schülerinnen der Sekundarstufe legen mit 984 Personenkilometer pro Jahr mehr als das doppelte an Wegstrecken zurück, ein Drittel davon zu Fuss oder mit dem Fahrrad. In der Sekundarstufe wird gesamtschweizerisch ein Grossteil der Wegstrecken mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt.

In Kernstädten mit ihrer relativ grossen Dichte an Schulhäusern und den entsprechend kurzen Wegen, sind die jährlich zurückgelegten Distanzen deutlich kleiner und der Anteil der Wegstrecken, die zu Fuss oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, dominiert klar.

Für das obengenannte Merkblatt SIA 2039 wurde als Datengrundlage der *Mikrozensus 2005* zum Verkehrsverhalten ausgewertet.³³

6.2 Mobilitätsverhalten

An einem mit dem öffentlichen Verkehr gut erschlossenen Standort in einer Kernstadt werden gemäss Merkblatt 2039 der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum gesamtschweizerischen Durchschnitt um rund 10% reduziert, weil die zurückgelegten Distanzen kürzer sind. Kurze Distanzen werden meist zu Fuss, mit dem Fahrrad oder mit öffentlichen Nahverkehrsmitteln zurück gelegt, was mit ein Grund für die positive Bilanz darstellt. Schülerinnen und Schüler gehen in der Regel in ihrem Wohnquartier zur Schule. Entscheidend ist damit der Wohnort der Lehrpersonen: je grösser die Distanzen zum Arbeitsort, desto grösser die Wahrscheinlichkeit, dass die Wege mit dem Auto zurückgelegt werden.

Hypothesen

An energetisch effizienten Schulhausstandorten in Kernstädten ist das Potenzial von Suffizienz gross: Arbeitswege können problemlos zu Fuss, mit dem Fahrrad oder mit dem öffentlichen Nahverkehrsmitteln zurückgelegt werden. Voraussetzung ist, dass nicht nur die Schüler und Schülerinnen in der Kernstadt wohnen, sondern auch ein Grossteil der Lehrpersonen.

Kleine Anstellungspensen bei Lehrpersonen führen zu einem Pendelverkehr der Lehrkräfte von Schulhaus zu Schulhaus.

Schülerinnen und Schüler werden dann mit dem Auto zur Schule gefahren, wenn der Schulweg gefährlich ist (überqueren von stark befahrenen Strassen). Entsprechend erhöhen sich Energieverbrauch und Emissionen bei Schulhausstandorten, die von angrenzenden Wohnquartieren durch stark befahrene, schwierig zu überquerende Strassen getrennt sind.³⁴

Wenn Lehrpersonen genügend nicht kostenpflichtige Parkplätze beim Schulhaus zur Verfügung stehen, erhöhen sich der Energieverbrauch und die Emissionen im Bereich Mobilität, weil Lehrpersonen dann eher mit dem Auto zur Schule fahren.

³³ Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten. Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung, 2007.

³⁴ In der folgenden Berechnung ist eine Erhöhung um 40% eingesetzt. Die Prozentangabe ist, abgeleitet von den Erkenntnissen bei Wohngebäuden, geschätzt und nicht gerechnet.

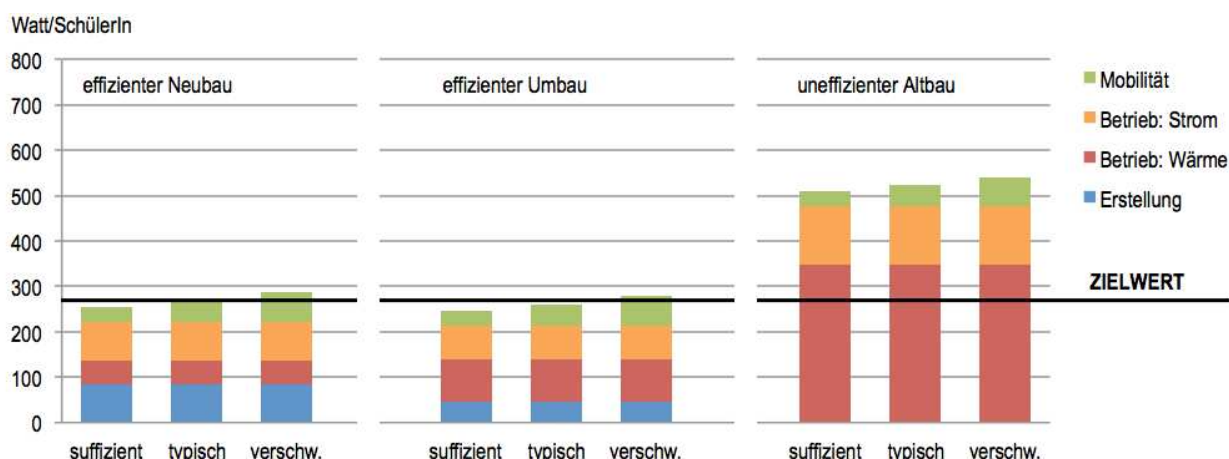
6.3 Fazit zur Einflussgrösse Nutzerverhalten Mobilität

Der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in der Mobilität ist bedeutend. Werden die Wege zum Schulhaus konsequent zu Fuss, mit dem Fahrrad oder mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt, können der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen deutlich gesenkt werden. Ein Nutzerverhalten, wie es dem Szenario «suffizient» hinterlegt ist (z.B. keine Arbeitswege mit dem Auto, kurze Distanzen) dürfte den Energieverbrauch und die Emissionen im Bereich Mobilität im Vergleich zum typischen Verhalten um rund ein Drittel senken.³⁵

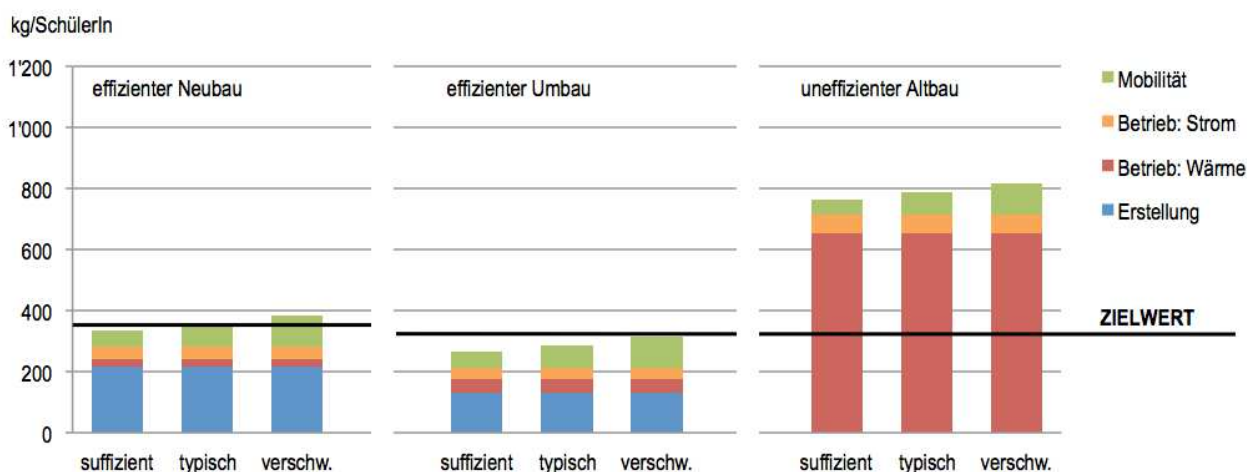
Wenn, wie im Szenario «verschwenderisch» angenommen, Lehrpersonen mit dem Auto zur Schule fahren und Kinder teilweise mit dem Auto zur Schule gefahren werden, vergrössern sich der Energieverbrauch und die Emissionen im Bereich Mobilität. Verschwenderisches Verhalten (z.B. alle Arbeitswege mit dem Auto, längere Distanzen) erhöht den Energieverbrauch und die Emissionen im Bereich Mobilität im Vergleich zum typischen Verhalten um mehr als ein Drittel.

In der Gesamtbilanz (Erstellung, Betrieb und Mobilität) ist der Einfluss des Nutzerverhaltens im Bereich Mobilität nicht sehr bedeutend: Bei Schulen macht die Mobilität rund einen Sechstel des gesamten Energieverbrauchs und rund einen Fünftel der Emissionen aus. Bei uneffizienten Altbauten sind es nur knapp 10%. Trotzdem kann dank Suffizienz in der Mobilität die Gesamtbilanz um rund 5% gesenkt und mit verschwenderischem Verhalten um rund 4-10% erhöht werden.³⁶

Figur 25: Einfluss des Nutzerverhaltens im Bereich Mobilität in den gewählten Szenarien; mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar.



Figur 26: Einfluss des Nutzerverhaltens im Bereich Mobilität in den gewählten Szenarien; Treibhausgasemissionen.



³⁵ Bei der Angabe handelt es sich um eine Schätzung. Sie wird aus den Ergebnissen der Studie Induzierte Mobilität von Volksschulhäusern [16] abgeleitet.

³⁶ 100% entspricht der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität gemäss SIA-Effizienzpfad Energie im Szenario «typisch».

6.4 Beispiel Stadt Zürich: Mobilitätsenergie bei Schulen

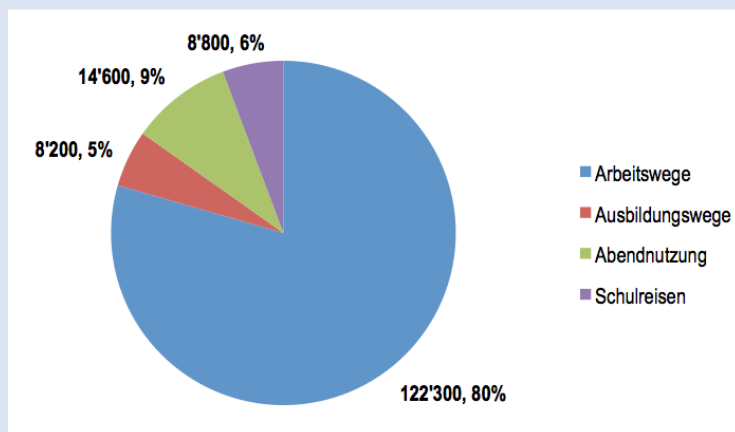
Im Bereich Mobilität verfügt die Stadt Zürich über hervorragende Voraussetzungen. Die Dichte der Schulhausstandorte, die kurzen Wegdistanzen und der sehr gut ausgebaute öffentliche Verkehr in der Kernstadt fördern ein energieeffizientes Mobilitätsverhalten. Schülerinnen und Schüler gehen in der Regel zu Fuss oder mit dem Fahrrad zur Schule. Ein Grossteil des Energieverbrauchs im Bereich Mobilität wird durch die Lehrpersonen verursacht, auch diese legen aber in der Stadt Zürich offenbar einen Grossteil ihrer Arbeitswege mit energieeffizienten Verkehrsmitteln zurück, wie die Studie *Induzierte Mobilität von Volksschulhäusern Zürich* [16] zeigt.

Über das ganze Portfolio gesehen dürften die städtischen Schulen dieses Suffizienz-Potenzial bereits weitgehend umsetzen. Entsprechende Studien zeigen, dass die städtischen Schulen beim Energieverbrauch und den Emissionen im Bereich Mobilität nicht nur deutlich unter dem gesamtschweizerischen Durchschnitt liegen, sondern auch unter den Werten, welche in gut erschlossenen Kernstädten zu erwarten sind.

6.4.1 Hervorragende Ausgangslage und klare Strategie

Gemäss der Studie *Induzierte Mobilität von Volksschulhäusern Zürich* [16], bei der das Mobilitätsverhalten von Lernenden wie auch der Lehrpersonen an 11 städtischen Schulhäusern untersucht wurde, sind die Schüler und Schülerinnen nur für 5% der gesamten Energieverbrauchs verantwortlich, 80% können den Arbeitswegen der Beschäftigten zugewiesen werden.

Figur 27: Durchschnittlicher Mobilitätsenergieverbrauch in 11 städtischen Schulanlagen je Nutzungsart in MJ/a und % (Quelle: *Induzierte Mobilität von Volksschulhäusern*, Abbildung 1)



Die Berechnung der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Mobilität bei den elf untersuchten städtischen Schulhäusern liegen im Durchschnitt 30% unter den typischen gesamtschweizerischen Werten und 20% unter den Werten, welche in Schulen in Kernstädten in Bauzonen mit Wohnanteil und bei bester Erschliessung mit dem öffentlichen Verkehr zu erwarten sind.

Es darf also davon ausgegangen werden, dass das Mobilitätsverhalten der Lehrpersonen und Schülerinnen und Schüler in den untersuchten städtischen Schulhäusern bereits suffizient ist. Ein Hinweis dazu liefert auch die kurze Wohndistanz der Lehrkräfte: In den untersuchten Schulhäusern wohnen die Lehrpersonen im Durchschnitt nur 6.8 km von ihrem Arbeitsort entfernt.

Nur ein kleiner Teil des Schulpersonals kommt mit dem eigenen Motorfahrzeug zum Arbeitsplatz. Die Anzahl Parkplätze ist gemäss städtischer Parkplatzverordnung bei öffentlichen Schulanlagen eher knapp gehalten und die Parkplätze werden aktiv bewirtschaftet. Lehrpersonen müssen für die Benutzung der Parkplätze auf dem Schulareal eine kostenpflichtige Vignette lösen. Die Vignette begründet dabei keinen Anspruch auf einen freien Parkplatz.

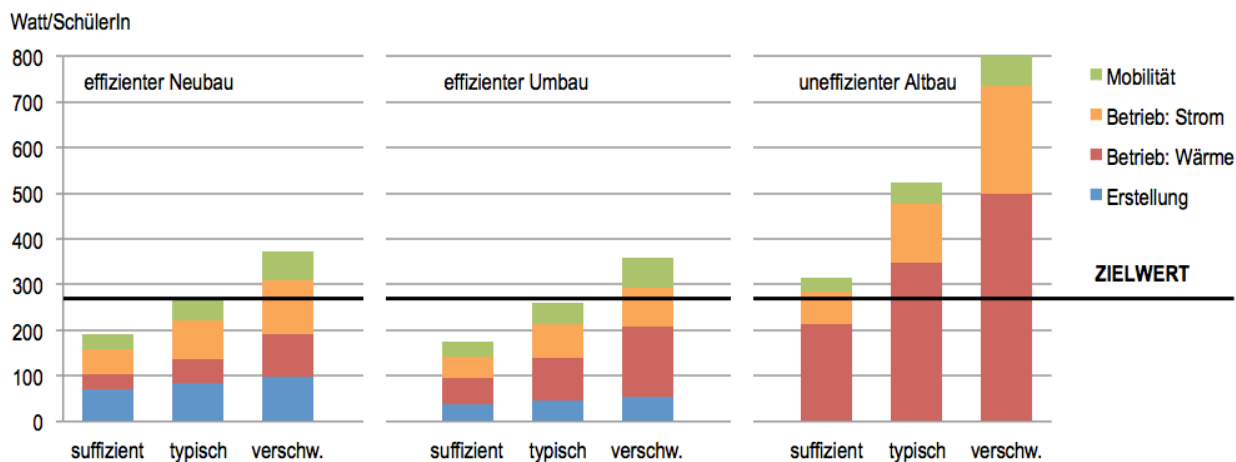
7 Einsparpotenzial durch Suffizienz

In den vorgehenden Kapiteln wurde das Potenzial der Bereiche variable Personenfläche, variabler Betrieb ausserhalb der Nutzungszeiten und variables Nutzerverhalten im Betrieb und in der Mobilität quantifiziert. Eine Kombination des Potenzials der untersuchten Einflussgrössen ist für die Zielerreichung der 2000-Watt-Gesellschaft im Sinne des SIA-Effizienzpfades von Interesse.

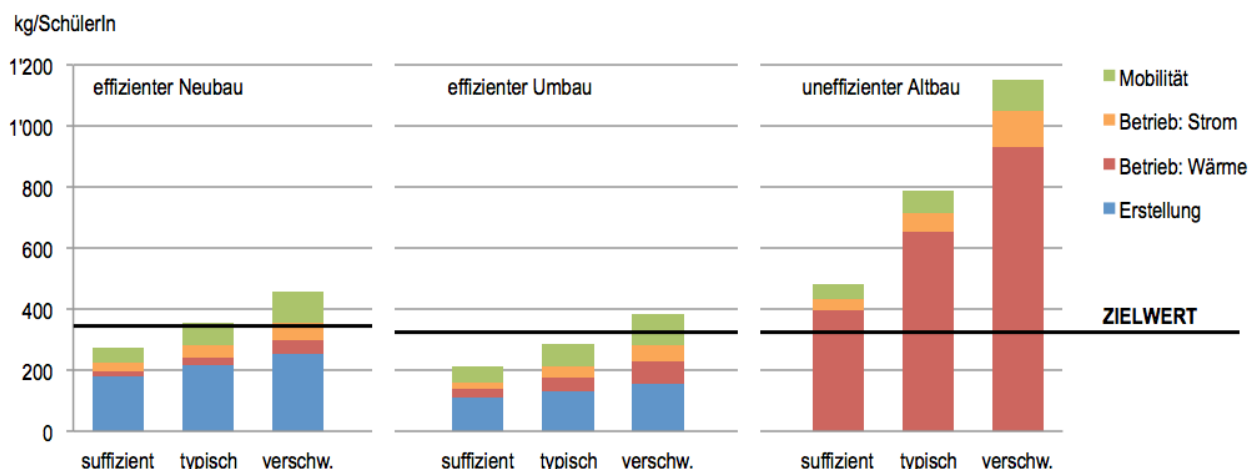
7.1 Das Potenzial von Suffizienz und dessen Gegenteil

Im Kapitel 2.4.2 wurden die Annahmen, welche den in dieser Studie gewählten Szenarien «typisch», «suffizient» und «verschwenderisch» hinterlegt sind, zusammengefasst. Die Szenarien dienen zur Abschätzung der Potenziale der einzelnen Einflussgrössen, welche in den Kapiteln 3 bis 6 einzeln untersucht wurden. Werden nun die einzelnen Puzzlesteine zusammen gefügt, ergibt sich für die «typische Schule», die «suffiziente Schule» und die «verschwenderische» Schule folgendes Bild. Selbstverständlich sind diese Schultypen hypothetisch.

Figur 28: Kumuliertes Einflusspotenzial in den gewählten Szenarien «typisch», «suffizient» und «verschwenderisch»; mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar.



Figur 29: Kumuliertes Einflusspotenzial in den gewählten Szenarien «typisch», «suffizient» und «verschwenderisch»; Treibhausgasemissionen.



Bei effizienten Neubau- und Umbauten kann im Szenario «suffizient» eine Einsparung von 25-30% gegenüber einer typischen Nutzung erzielt werden. Bei Altbauten ist sogar eine Reduktion um 40% realisierbar. Das ist weniger als bei Wohnbauten, aber immer noch beträchtlich. Die grössten Hebel sind eindeutig die kleinere Personenfläche und die reduzierten Betriebszeiten.

Im Szenario «verschwenderisch» muss bei effizienten Neu- und Umbauten mit einer Erhöhung der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen um 30% gerechnet werden unter der Voraussetzung dass die Beleuchtung mit Präsenzmeldern gesteuert ist. Bei Altbauten mit einer fossilen Wärmezeugung und unregelmäßiger Beleuchtung erhöhen sich die Emissionen und der Energieverbrauch im gewählten Szenario um rund 50%. Die bedeutendsten Hebel sind die Personenfläche und die erhöhte Raumtemperatur.









Bedenkenswert ist, dass durch verschwenderisches Verhalten in einem sehr effizienten Neubau mit erneuerbarem Energieträger nahezu gleich viel Primärenergie verbraucht und Treibhausgase emittiert werden, wie in einem suffizient genutzten Altbau mit einer fossilen Wärmezeugung.

Insbesondere bei nicht effizienten Altbauten ist das Nutzerverhalten relevant. Absolut gesehen variieren die klimarelevanten Treibhausgasemissionen in ein und demselben Schulhaus je nach Flächenbedarf und Nutzerverhalten um eine Dreivierteltonne pro Lernenden. In effizienten Schulbauten liegt diese Varianz mit 200 kg pro Schüler oder Schülerin in einer sehr viel kleineren Größenordnung.

7.2 Das Einflusspotenzial nach Akteuren

Für die Realisierung des Suffizienz-Potenzials sind verschiedene Akteure gefragt. Der grösste Einfluss liegt bei Neu- und Erweiterungsbauten in den Händen der Bauherrschaft, in der Regel sind das Städte und Gemeinden. Sehr gross sind aber auch die Handlungsmöglichkeiten der Betreiber von Schulbauten, sei dies der Hausdienst vor Ort oder die Verwaltungen. Das Schulpersonal und die Schüler und Schülerinnen können nur beschränkt direkt Einfluss nehmen auf den Energieverbrauch. Wenn sie die Umsetzung aber nicht mittragen und mit ihrem alltäglichen Verhalten unterstützen, lässt sich Suffizienz nicht erfolgreich umsetzen.

Figur 30: Einsparpotenziale durch Suffizienz nach Akteuren.

 <p>Einsparungen durch moderate Suffizienz nach Akteuren 100% = Summe der Primärenergie und Treibhausgasemissionen aus Erstellung, Betrieb und Mobilität</p>	 <p>Flächenbedarf pro Person</p>	 <p>Betriebszeiten / Auslastung</p>	 <p>Nutzerverhalten</p>	 <p>Mobilität</p>	
 <p>Erstausstattung Bauherrschaft</p>	<p>Einsparung durch 20% Reduktion Standardpersonenfläche (z.B. Anpassung von Raumprogrammen, Mehrfachnutzung von Räumen):</p> <p>12% bei effiz. Bauten 14% bei Altbauten</p>	<p>--</p>	<p>Einsparung durch Steuerungen (z.B. für die Beleuchtung, Gerätebetrieb):</p>	<p>Einsparung durch Ausstattung (z.B. sichere Schulwege, reduziertes Parkplatzangebot, Veloabstellplätze):</p> <p>2-5%</p>	
 <p>Betrieb Verwaltung</p>		<p>Einsparung durch eingeschränkten Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit:</p> <p>10% bei effiz. Bauten 20% bei Altbauten</p> <p>Alternativ: bessere Auslastung der Gebäude (z.B. durch Drittnutzungen).</p>	<p>2-4% bei vorher nicht gesteuerten Anlagen</p>		<p>2-5%</p>
 <p>Nutzerverhalten Schulpersonal, Schüler + Schülerinnen</p>		<p>--</p>	<p>Einsparung durch Nutzerverhalten:</p> <p>2-4% bei gesteuerten, 3-8% bei nicht gesteuerten Anlagen</p>		<p>Einsparung durch Nutzerverhalten:</p> <p>2-5%</p>








7.3 Beispiel Stadt Zürich: Einsparpotenzial durch Suffizienz

Über das ganze Portfolio gesehen setzen die städtischen Schulen bereits einen Teil des gesamten Suffizienz-Potenzials um. Allerdings ist das ganze Portfolio mit rund 120 Volksschulen gross und es besteht zum weitaus grössten Teil aus energetisch noch nicht optimierten Altbauten.

7.3.1 Optimierungspotenzial

Eine gesicherte Aussage zur Situation in der Stadt Zürich ist im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen und auch nicht möglich. Trotzdem soll eine vorsichtige Einschätzung des vorhandenen Optimierungspotenzials hier gewagt werden.

Figur 31: Einsparpotenziale durch Suffizienz nach Akteuren – spezifische Situation in der Stadt Zürich.

<p>Einsparungen durch moderate Suffizienz nach Akteuren</p> <p>100% = Summe der Primärenergie und Treibhausgasemissionen aus Erstellung, Betrieb und Mobilität</p>	 <p>Flächenbedarf pro Person</p>	 <p>Betriebszeiten / Auslastung</p>	 <p>Nutzerverhalten</p>	 <p>Mobilität</p>
 <p>Erstausstattung Bauherrschaft</p>	<p>Einsparung durch Reduktion Standard-personenfläche:</p>		<p>Einsparung durch Steuerungen (z.B. für die Beleuchtung, Gerätebetrieb):</p>	<p>Einsparung durch Ausstattung (z.B. sichere Schulwege, reduziertes Parkplatzangebot, Veloabstellplätze):</p>
 <p>Betrieb Verwaltung</p>	<p>Optimierungspotenzial bei Neubauten vorhanden: Bei den letzten realisierten Neubauten zeichnet sich ein Trend zu einem 10% höheren Flächenbedarf im Vergleich zu bestehendem Portfolio ab.</p> <p>Diesem Trend wird in aktuellen Projektierungen entgegengesteuert. Bei einem aktuellen Beispiel wurde im Auftrag des Stadtrates und in Zusammenarbeit mit allen Beteiligten eine Reduktion des Flächenbedarfes von ca. 15% in den Phasen Strategische Planung bis zur Erstellung Raumprogramm Wettbewerb erreicht.</p>	<p>Einsparung durch eingeschränkten Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit oder alternativ bessere Auslastung der Gebäude:</p> <p>Optimierungspotenzial wird zurzeit abgeklärt: Langzeitversuche werden evaluiert, Auslastung von Schulräumen ermittelt.</p>	<p>Potenzial in der Stadt Zürich wird laufend umgesetzt.</p>	<p>Potenzial in der Stadt Zürich weitgehend umgesetzt.</p>
 <p>Nutzerverhalten Schulpersonal, Schüler + Schülerinnen</p>			<p>Einsparung durch Nutzerverhalten (z.B. Lichter löschen, kein Standby, suffiziente Nutzung von IKT):</p> <p>Optimierungspotenzial durch Sensibilisierung vorhanden.</p>	<p>Einsparung durch Nutzerverhalten (z.B. Arbeitswege zu Fuss, mit dem Velo oder mit öffentlichem Verkehr):</p> <p>Potenzial in der Stadt Zürich weitgehend umgesetzt.</p>

8 Empfehlungen

Es ist nicht Schwerpunkt dieser Studie Handlungsanweisungen zu generieren, die dazu verhelfen, ein suffizientes Nutzerverhalten zu fördern. Aus den Erkenntnissen der Studie lassen sich aber Empfehlungen ableiten.

8.1 Allgemeine Empfehlungen für Schulbauten

- Lösungen gemeinsam erarbeiten. Grundlage für eine nachhaltige Umsetzung ist ein gemeinsames Erarbeiten und Aushandeln von Lösungen mit allen Beteiligten und Betroffenen. Das Wissen der einzelnen Fachpersonen (Schulraumplanung, Immobilienmanagement, Architektur etc.) muss für langfristig funktionierende Lösungen einfließen.

8.1.1 Zur Personenfläche

- Bedarf ermitteln. Der Raumbedarf ist in der strategischen Planung mit einer Strategie mittelfristig zu ermitteln. Die Raumbedarfs-Strategie beinhaltet die Erhebung des quantitativen Flächenbedarfs und dessen räumliche Verteilung und dient als Grundlage zur Planung und Beurteilung von Investitionen.
- Betriebliche Lösungen suchen. Bevor das Raumangebot erweitert wird, ist immer zu prüfen, ob durch eine Umorganisation innerhalb des Bestands Lösungen gefunden werden können. Betriebliche Lösungen können im Gegensatz zu baulichen Massnahmen oft schnell und kostengünstig umgesetzt und bei sich verändernden Bedürfnissen flexibel angepasst werden. Unkonventionellen Ideen Raum geben.
- Mehrfachnutzungen zulassen. Mehrfachnutzungen von Räumen in einer zeitlich gestaffelten Abfolge bedingen innerbetriebliche Anpassungen und einen gewissen Organisationsaufwand. Sie sind aber zeitnah umzusetzen und verursachen meist nur geringe Kosten. Durch die isolierte Sicht in einzelnen Nutzungseinheiten können Einsparungen durch die Mehrfachnutzung gleicher Räume übersehen werden. Wenn mehrere Schulanlagen gemeinsam betrachtet werden, birgt auch in beschränktem Mass eine Zentralisierung gewisser Nutzungseinheiten an einem Standort ein Sparpotenzial (z.B. Sporteinrichtungen, Mehrzweckräume).
- Hauptnutzfläche optimieren. Die Hauptnutzfläche HNF ist für die wichtigsten Nutzungseinheiten in Raumprogrammen so vorzugeben, dass sie den jeweiligen Bedürfnissen gerecht wird.
- Nebennutz-, Verkehrs-, Funktions- und Konstruktionsflächen optimieren. Eine Optimierung des Flächenbedarfs ist bei «zudienenden» Flächen anzustreben. Verkehrsflächen wie Treppenhäuser, Foyer, Zugangszonen sind zu optimieren. Eine kleine Konstruktionsfläche ergibt sich über eine kompakte Gebäudeform. Funktionsflächen (Räume für betriebstechnische Anlagen) und Nebennutzflächen (wie Garderoben, Abstellräume und Sanitäräume) sind zu optimieren.
- Flächeneffizienz in Wettbewerben vorgeben und prüfen. Schon im Architekturwettbewerb sollen Vorgaben gemacht werden, die einen suffizienten Flächenbedarf begünstigen. Die Größenordnung der Vorgabe soll objektspezifisch über eine Testplanung erhoben und die Zielgrösse im Wettbewerb soll ambitiös angesetzt werden. Die Flächen sind durch die Wettbewerbsteilnehmer auszuweisen. Die Kennzahl soll im Rahmen der Vorprüfung ausgewiesen und bei der Beurteilung der Projekte berücksichtigt werden. Die Optimierung dieser Kenngrösse dient in gleichem Masse der Senkung von Lebenszykluskosten.

8.1.2 Zu den Betriebszeiten / zur Auslastung

- Nutzungszeiten evaluieren. Schulhäuser sind nur einen Drittel der Zeit im Jahresverlauf in Betrieb. Von grossem Interesse ist der Energieverbrauch ausserhalb dieser Nutzungszeit. Um

Aussagen dazu machen zu können, ist die effektive Nutzungszeit (für Eigen- aber auch Fremdnutzung) zu erheben, der Energieverbrauch in der «Betriebszeit ausserhalb der Nutzungszeit» zu messen und dieser mit geeigneten Massnahmen zu senken. Bei energetisch uneffizienten Altbauten betrifft dies insbesondere die Heiztemperatur an Wochenenden und in den Schulferien.

- Betriebszeit ohne Nutzen reduzieren. Mit einer Verbesserung der Auslastung von Schulräumen durch eine sinnvolle Fremdnutzung in der unterrichtsfreien Zeit kann der «Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit» reduziert werden. Wenn durch eine stärkere Auslastung und diversifizierte Nutzung von Schulhäusern der Bau und Betrieb zusätzlicher Räume überflüssig wird, ist dies ein ausserordentlich grosser Beitrag zur Ressourcenschonung. Die Umsetzung bedingt allerdings Zutrittsregelungen und allenfalls –kontrollen. Die Entwicklung eines Indikators für die Fremdnutzung von Schulbauten könnte wertvolle Hilfe zu einer verursacherge-rechten Beurteilung des Energieverbrauchs bieten.

8.1.3 Zum Nutzerverhalten im Betrieb

- Verschwenderisches Verhalten verhindern. Durch die Steuerung und Regelung der Beleuchtung und der Raumlufttemperatur kann mit technischen Massnahmen verhindert werden, dass Nutzer Energie verschwenden. Insbesondere in Toiletten und wenig kontrollierten Räumen sind keine Kippfenster vorzusehen.
- Suffizientes Verhalten ermöglichen. Um zusätzlich suffizientes Verhalten zu fördern, ist ein zwingendes Einschalten der Beleuchtung von Hand vorzusehen und ein Ausschalten per Handtaster zu ermöglichen.
- Lehrpersonen, Schülerinnen und Schüler sensibilisieren. Durch Messungen und Versuche im Schulunterricht die Konsequenzen von erhöhten Raumlufttemperaturen veranschaulichen und den Energieverbrauch von diversen Geräten kennen lernen. Das berühmte «Bauchgefühl» stimmt nicht immer und relevante Nutzereinflüsse werden deshalb nicht erkannt.

8.1.4 Zum Nutzerverhalten Mobilität

- Schule ins Quartier bringen. Standorte für neue Schulhäuser sind so zu wählen, dass Schülerinnen und Schüler nur kurze Wegdistanzen zurücklegen müssen und somit zu Fuss oder mit dem Fahrrad zur Schule gehen können.
- Für sichere Schulwege sorgen. Standorte für neue Schulhäuser und Schulwege zu Volksschulen sind so zu wählen und zu gestalten, dass objektiv oder subjektiv gefährliche Strassen oder Plätze sicher überquert werden können.
- Gute, sichere und gedeckte Veloabstellplätze anbieten. Allenfalls auch geschützte Veloabstellplätze für Lehrpersonen vorsehen.
- Auch in Schulen Parkplätze aktiv bewirtschaften. Der Parkplatz soll auch für Lehrpersonen nicht gratis und nicht selbstverständlich sein. Angebot an Parkplätzen optimieren.
- Eltern-Taxis verhindern. Parkplätze für den Abhol- oder Bringdienst von Schülerinnen und Schülern sind nicht vorzusehen.

8.1.5 Grundlagen

- Energiebezugsfläche EBF absichern. Die Energiebezugsfläche ist für alle energetischen Berechnungen die wichtigste Bezugsgrösse. Sie wird aber oft nicht gemäss SIA 416/1 gerechnet, sondern über Annäherungsformeln geschätzt. Da die mit einer gewissen Ungenauigkeit behafteten statistischen Daten in Normen verwendet und für die Definition von Zielwerten zu-gezogen werden, ist eine grössere Sicherheit bezüglich der Datenbasis von grosser Wichtigkeit. Die Datengrundlagen aus dem Jahr 2005 sind zu aktualisieren.

8.2 Ergänzende Empfehlungen für die Schulbauten der Stadt Zürich

Folgende Empfehlungen dienen ergänzend für die spezifische Situation in den Schulanlagen der Stadt Zürich.

8.2.1 Zur Personenfläche

Erstellung von Neubauten und Gesamtinstandsetzungen:

- Räumliche Synergien nutzen: Durch eine sinnvolle Anordnung von Unterrichts- und Betreuungsräumen kann die Zusammenarbeit gefördert werden und das Raumangebot gemeinsam genutzt werden. Separate Betreuungstrakte erschweren dies.
- Flächenverhältnisse optimieren. Flächenauswertungen im Portfolio der Volksschulen Stadt Zürich zeigen, dass rund die Hälfte der gesamten Geschossfläche zur Hauptnutzfläche zählt. Rund 50% der Fläche wird als Nebennutz-, Verkehrs-, Funktions- und Konstruktionsfläche genutzt. Eine Optimierung dieses Verhältnisses ist zu untersuchen.
- Mehrdimensionale Indikatoren für die Flächennutzung entwickeln. Wo solche noch nicht vorhanden sind, sollen geeignete Indikatoren entwickelt werden unter Berücksichtigung der diversen Aufgaben der Schulen (Schule, Betreuung) und für Drittnutzungen. Idealerweise sind die Indikatoren auch mit einer zeitlichen Dimension hinterlegt (Beispiel: wie viele Personen beanspruchen eine Fläche in welchem Zeitraum für welche Nutzung?).

Bewirtschaftung:

- Mehrfachnutzungen ermöglichen. Mehrfachnutzungen von Räumen in einer zeitlich gestaffelten Abfolge bedingen innerbetriebliche Anpassungen und einen gewissen Organisationsaufwand. Sie sind aber zeitnah umzusetzen und verursachen meist nur geringe Kosten. Kurzzeitversuche starten und zeitnah evaluieren. Eine gewisse Toleranz sowohl von den Betroffenen als auch von Behörden und Kontrollstellen ist zu fördern.
- Informationen der Untersuchung zu den effektiven Nutzungszeiten von Schulräumen³⁷ zur Umsetzung prüfen (siehe Kapitel 3.5.3, z.B. Auslastung Werkstätten Sekundarstufe).

8.2.2 Zu den Betriebszeiten / zur Auslastung

Erstellung von Neubauten und Gesamtinstandsetzungen:

- Differenzierung von Schulanlagen nach Sektoren prüfen. Räume mit gleichen Nutzungszeiten sollen gruppiert werden. Turnhallen beispielsweise, aber auch Bibliotheken oder Mehrzwecksäle sind oft auch ausserhalb der Unterrichtszeiten in Betrieb. Die gebäudetechnischen Anlagen sollen einen sektoriellen Betrieb erlauben.

Bewirtschaftung:

- Auslastung optimieren. Wenn durch eine stärkere Auslastung und diversifizierte Nutzung von Schulhäusern der Bau und Betrieb zusätzlicher Räume überflüssig wird, ist dies ein ausserordentlich grosser Beitrag zur Ressourcenschonung. Fremdnutzungen in bestehenden Schulgebäuden profitieren von der vorhandenen Infrastruktur. Die Nutzungszeiten sollen dabei so kompakt wie möglich gehalten werden.
- Betriebsenergie ausserhalb der Nutzungszeit senken. Nur eine konsequente Regelung der Nutzungszeiten (insbesondere bei Altbauten und während der Heizperiode) erlaubt es, Temperaturen und den Stromverbrauch ausserhalb der Nutzungszeit zu senken. Die Umsetzung der *Raumtemperatur-Richtlinie 2006* [13] ist zu überprüfen und allenfalls praktikable Lösungen zu suchen (Kapitel 4.4).

³⁷ Arbeitspakete Analyse Auslastung und Betriebskonzept im Rahmen des Projektes «Flächenmanagement/Controlling»

- Vielfalt des Portfolios nutzen. Freiwillige Angebote an Schulen in unterrichtsfreien Zeiten sollen in effizienten Neu- und Umbauten stattfinden und nicht in energetisch uneffizienten Altbauten.
- Reinigungsplan optimieren. Die Reinigung von Schulräumen während der Schulferien verhindert eine konsequente Senkung der Betriebsenergie ausserhalb der Unterrichtszeit. Umfassende Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten sind wenn möglich ausserhalb der Heizperiode anzusetzen.
- Stromverbrauch ausserhalb der Nutzungszeit analysieren. Erst wenn klar ist, welche elektrischen Geräte für den Verbrauch verantwortlich sind, kann geklärt werden, ob und wenn ja mit welchen Massnahmen dieser reduziert werden kann.

8.2.3 Zum Nutzerverhalten im Betrieb

- Betriebsoptimierungen auch bei kleineren Schulanlagen durchführen. Heute werden sie erst bei den Grossverbrauchern umgesetzt.
- Das Schliessen der Zimmertüren im Winter ist zu prüfen. So kommen die unterschiedlichen Anforderungen an die Raumtemperaturen zwischen Klassenräumen und Korridoren zum Tragen.
- Lehrpersonen, Schülerinnen und Schüler sensibilisieren. Durch Messungen und Versuche im Schulunterricht die Konsequenzen von erhöhten Raumlufttemperaturen veranschaulichen und den Energieverbrauch von diversen Geräten kennen lernen. Die Leiterinnen und Leiter Hausdienst & Technik verfügen über die notwendigen Informationen und Messgeräte.

8.2.4 Zum Nutzerverhalten Mobilität

- Bei Neubauten stets das Minimum der in der Parkplatzverordnung vorgeschriebenen Anzahl Parkplätze erstellen. Die Interpretation der Parkplatzverordnung bei Schulhauserweiterungen klären und die Parkplatzzahl nur erhöhen, wenn eine zwingende Nachfrage ausgewiesen ist.
- Parkplätze weiterhin aktiv bewirtschaften. Das Vignetten-System hat sich bewährt.

8.2.5 Grundlagen

- Energiebezugsfläche EBF absichern. In der Stadt Zürich scheint eine Annäherung am Ehesten über die beheizte Nettogeschossfläche NGF und Konstruktionsfläche KF möglich, welche im System CAFM heute schon erhoben werden. Eine Kontrolle der Schätzgenauigkeit ergibt sich mit wenig Aufwand, indem bei allen Neu- und Umbauten, bei denen ein Energieausweis behördlich verlangt wird, die korrekt nach SIA 416/1 gerechnete EBF mit der geschätzten EBF aus der Annäherungsformel verglichen wird.
- Wenn die Energiebezugsfläche EBF im Rahmen eines Umbaus oder Neubaus im Rahmen einer Heizwärmebedarfsrechnung nach SIA 380/1 erhoben wird, ist eine Rückspeisung der korrekt berechneten Flächenangabe in das System CAFM sicher zu stellen (vgl. Kapitel 3.5.4).

9 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Grundlagen zu einem Suffizienzpfad Energie. Das Beispiel Wohnen. Amt für Hochbauten, 2012. Download unter www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen > Fachinformationen, Themenschwerpunkt 7
- [2] SIA-Effizienzpfad Energie, Merkblatt SIA 2040, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2011
- [3] Palzkill; Schneidewind: Entrümpelung, Entschleunigung, Entflechtung und Endkommerzialisierung: Suffizienz als Business Case, in: Ökologisches Wirtschaften. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 2013
- [4] Graue Energie von Gebäuden, Merkblatt SIA 2032, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2009
- [5] Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort; Merkblatt SIA 2039; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2011
- [6] Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2012. KBOB, eco-bau, IPB. Download unter www.eco-bau.ch
- [7] Schulen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft. Teilprojekt Szenarien. Amt für Hochbauten, 2011. Download unter www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen > Fachinformationen, Themenschwerpunkt 2
- [8] Gebäudeparkmodell SIA Effizienzpfad Energie. Dienstleistungs- und Wohngebäude. Bundesamt für Energie. Auftragnehmer: ETH und TEP, 2009
- [9] SIA-Effizienzpfad Energie. Bestimmung der Richt- und Zielwerte mit dem TopDown-Approach. Lenzlinger M., 2010
- [10] Empfehlungen für Schulhausanlagen vom 1. Januar 2012, Baudirektion Kanton Zürich, Bildungsdirektion Kanton Zürich, Volksschulamt, 2012. Download unter www.volksschulamt.zh.ch
- [11] Betrieb ohne Nutzen – BON. Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, 2011. Download unter www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen > Fachinformationen, Themenschwerpunkt 4
- [12] Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit – BaN. Analyse Amtshaus 3. Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, 2012. Download unter www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen > Fachinformationen, Themenschwerpunkt 4
- [13] Raumtemperatur-Richtlinie 2006, Beilage zum Stadtratsbeschluss Nr. 1194, Oktober 2006. Anhang 2: Sonderbestimmungen für Schulgebäude betreffend Betriebszeiten und Temperaturabsenkungen.
- [14] Lüftung für Schulen. Studie zu geeigneten Lüftungen für Schulhäuser bei Modernisierungen. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, 2012.
- [15] Raummodul Klassenzimmer. Standard Gebäudetechnik, Version 2.1. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, 2008.
- [16] Induzierte Mobilität von Volksschulhäusern Zürich, Berechnung Mobilitätsenergie. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten. Auftragnehmer: Planungsbüro Jud, Zürich, 2010.