SCHWEIZER BAU DOKUMENTATION
Schweizer Baudokumentation
CH–4223 Blauen
Telefon 061 761 41 41
Telefax 061 761 22 33
www.baudoc.ch

AOT 00100
August 1999 0899

Energie im Bauwesen: Bautechnik

von Marco Ragonesi, dipl. Arch. HTL, Luzern

L'énergie dans le bâtiment: technique de la construction

par Marco Ragonesi, arch. dipl. ETS, Lucerne

Einleitung

Weil das Bauen in der Schweiz generell teuer und die Energie günstig ist, liegt es nahe, dass betreffend baulichen Wärmeschutz oft nur gerade den gesetzlichen Bestimmungen Rechnung getragen wird; die Gebäudehülle wird diesbezüglich minimiert – der Wärmeschutznachweis muss knapp erbracht werden, damit man bauen darf – statt optimiert. Der Stellenwert der Energie ist heute auch deshalb noch viel zu klein, weil die Betriebsenergie und deren ökologische Auswirkung (z.B. Treibhauseffekt) sowie die lange Nutzungsdauer der Gebäudehülle zu wenig beachtet werden, wenn über den Wärmedämmstandard diskutiert wird. Oder, was in der Praxis noch viel häufiger der Fall sein dürfte, es wird überhaupt nicht über Energie diskutiert, weil die Kenntnisse über andere Wärmedämm- bzw. Baustandards fehlen.
Dieser Fachaufsatz soll primär dazu dienen, dass der Architekt und der Bauherr in einer sehr frühen Phase über das Thema Energie diskutieren und bewusst Entscheide fällen können, z.B. zugunsten eines verbesserten Wärmeschutzes. Durch das Aufzeigen von unterschiedlichen Baustandards und deren energetischen Auswirkungen soll die Energie zu einem Thema von viel höherem Stellenwert werden, wobei zu unterscheiden ist zwischen:

- **Energie für den Betrieb des Gebäudes.** Damit ein Gebäude den ihm zugedachten Nutzen, z.B. behagliche Wohn- und Arbeitsräume, erbringen kann, muss während der Winterperiode Energie zugeführt werden, um die auftretenden Verluste zu decken. In der Sommerperiode muss allenfalls Energie für die Kühlung von Räumen aufgewendet werden. Dieser jährliche Energiebedarf variiert stark in Abhängigkeit von der Qualität des Gebäudes. In diesem Fachaufsatz wird nur auf die Energie für das Beheizen näher eingegangen, durch optimierte Gebäudeform und guten Wärmeschutz kann dieser Energieaufwand erheblich reduziert und damit ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion der Umweltbelastung geleistet werden.

- **Energie für die Erstellung des Gebäudes**, so genannt graue Energie, aufgeteilt in erneuerbare und nicht erneuerbare Energie. Dieser einmalige Energie-Input wird über die Nutzungsjahre «amortisiert». Je kleiner der einmalige Bedarf an Energie für die Erstellung ist, wobei primär der Anteil nicht erneuerbarer Energie von Bedeutung ist, und je länger ein Gebäude (bzw. Bauteil/Baustoff) genutzt werden kann, desto geringer ist die jährliche Umweltbelastung.
Einen Einfluss auf die Ökologie haben auch die jeweiligen Stoffkreisläufe: Ein Bauteil sollte so zurückgebaut werden können, dass sich die sortenreinen Baustoffe optimal weiterverwenden oder rezyklieren lassen.

Introduction

Comme le coût de la construction en Suisse est généralement élevé alors que celui de l'énergie est avantageux, il est évident que l'isolation thermique des bâtiments se contente souvent de répondre tout simplement aux dispositions légales; on minimise par conséquent l'enveloppe du bâtiment – il suffit juste de justifier l'isolation thermique à réaliser au lieu de l'optimiser. Aujourd'hui encore, l'importance accordée au facteur énergétique est beaucoup trop faible du fait que l'on ne tient pas assez compte de l'énergie d'exploitation, de ses effets écologiques (par exemple effet de serre) et de la longévité de l'enveloppe du bâtiment en discutant du standard d'isolation thermique. Ou, chose qui se passe encore beaucoup plus souvent dans la pratique, on ne discute même pas d'énergie, car on ne dispose pas des connaissances nécessaires relatives à d'autres standards d'isolation thermique et de construction.
Cette série d'articles spécialisés doit en premier lieu permettre à l'architecte et au maître de l'ouvrage de discuter et de prendre des décisions en toute connaissance de cause sur des questions énergétiques en une phase très précoce du projet, par exemple au profit d'une amélioration de l'isolation thermique. En examinant les différents standards de construction et leurs effets énergétiques, l'énergie sera un sujet qui prendra beaucoup plus d'importance, étant entendu qu'il faut effectuer une distinction entre les deux aspects suivants du problème:

- **Energie consommée pour l'exploitation du bâtiment.** Pour qu'un bâtiment puisse remplir l'usage auquel il est destiné, à savoir par exemple locaux d'habitation et de travail confortables, il faut lui fournir de l'énergie en période hivernale pour couvrir les déperditions qui se produisent. En été, il est également nécessaire de consommer de l'énergie pour réfrigérer les locaux. Cette consommation annuelle d'énergie varie fortement en fonction de la qualité du bâtiment. Dans le présent article, nous ne traiterons que de l'énergie de chauffage; une forme optimisée du bâtiment ainsi qu'une bonne isolation thermique permettent de réduire considérablement la consommation d'énergie et donc de contribuer très sensiblement à la réduction de la charge environnementale.

- **Energie consommée pour la réalisation du bâtiment.** Cette énergie dite énergie grise se subdivise en énergie renouvelable et énergie non renouvelable. Cet input énergétique unique «s'amortit» à travers les années d'utilisation. Plus la consommation d'énergie consacrée à la réalisation d'un bâtiment est faible – c'est en l'occurrence la part d'énergie non renouvelable qui est surtout importante – et plus ce bâtiment (respectivement une partie de construction ou un matériau) peut s'utiliser longtemps, plus la charge environnementale annuelle est faible.
Les cycles respectifs des matières ont également une influence sur l'écologie: un élément de construction devrait pouvoir se récupérer de telle sorte que les matières catégoriellement pures puissent se réutiliser ou se recycler à la perfection.

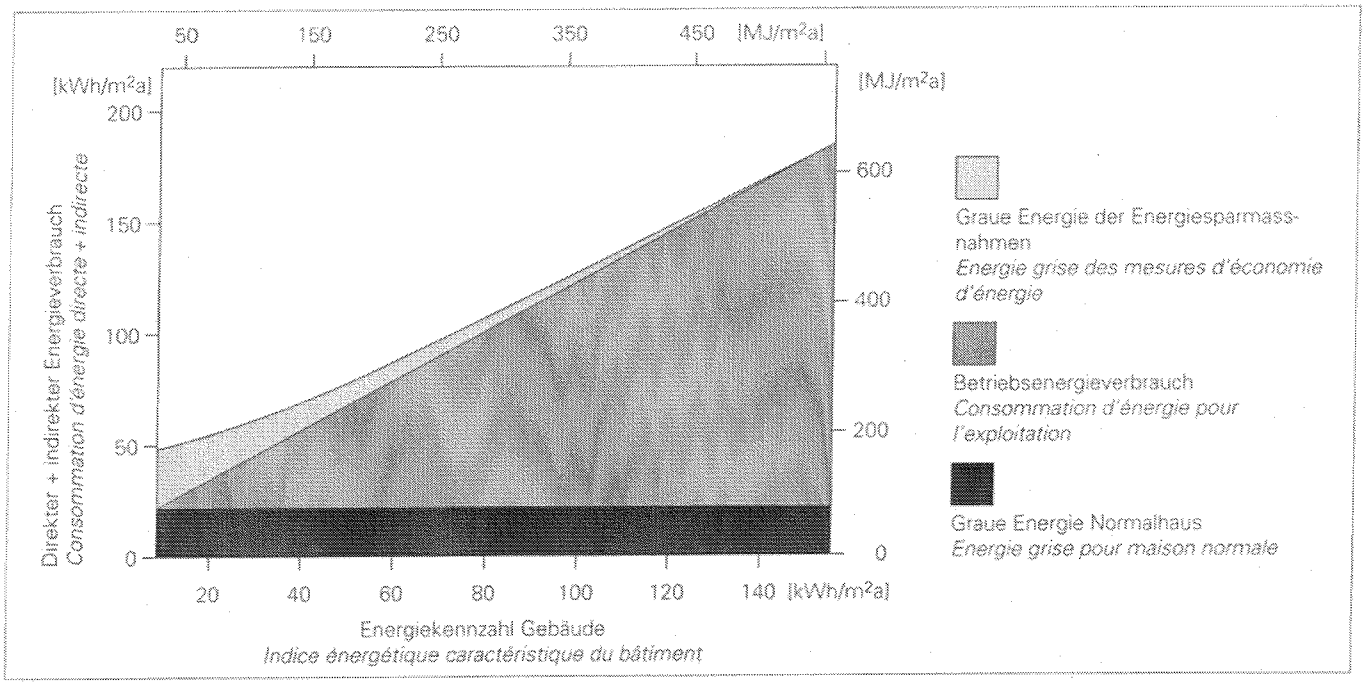


Abbildung 1:
Veränderung der Energieanteile «Bau und Betrieb» je nach Baustandard (gemäss P. Hofstetter, aus EMPA-KWH-Info Nr. 7 vom Dezember 1991)

Illustration 1:
Variation des parts énergétiques «construction et exploitation» en fonction du standard de construction (selon P. Hofstetter, tiré de EMPA-KWH-Info No 7, décembre 1991)

Obwohl im Vergleich zu früheren Bauten durch gesetzliche Rahmenbedingungen der Energiebedarf von Neubauten erheblich reduziert werden konnte, besteht auch heute noch ein grosses Sparpotenzial, wenn sich Planer und Bauherren nicht nur an zwingend einzuhaltenden Grenzwerten orientieren, sondern den heutigen Möglichkeiten Beachtung schenken (vgl. Abb. 2). Als neue Standards gelten MINERGIE- und Passivhaus-Bauten.
Ein sehr grosses Energiesparpotenzial weisen bestehende Bauten, mit Energiekennzahlen für die Raumheizung um 150 bis 200 kWh/m²a (540 bis 720 MJ/m²a), auf, wenn man sie mit Bauten vergleicht, die den heutigen gesetzlichen Anforderungen genügen (um 100 kWh/m²a bzw. 360 MJ/m²a) oder gar den neuesten Standards entsprechen (MINERGIE etwa 30 kWh/m²a bzw. 110 MJ/m²a, Passivhäuser etwa 10 kWh/m²a bzw. 36 MJ/m²a).

Die folgenden Überlegungen sollen dazu dienen, dass der Bauherr betreffend Energie, als wichtiges Kriterium für die Bauweise seines Gebäudes, sensibilisiert werden kann. Zusammen mit dem Architekten und allfälligen Spezialisten soll frühzeitig definiert werden, welche Ansprüche betreffend Wärmeschutz, Haustechnik und Betriebsenergie zu erfüllen sind. Die am Bau Beteiligten sollen sich in Kenntnis der verschiedenen Möglichkeiten für den einen oder anderen Baustandard entscheiden, im Bewusstsein, dass damit über Jahrzehnte die jährlichen Betriebskosten beeinflusst werden.

Même si les conditions-cadres légales permettent de réduire considérablement la consommation d'énergie des bâtiments neufs comparativement à des ouvrages réalisés antérieurement, il existe encore aujourd'hui un important potentiel d'économie si les planificateurs et les maîtres d'ouvrage ne s'en tiennent pas uniquement à des valeurs limites obligatoires, mais prêtent également attention aux possibilités actuelles (voir illustration 2). Les nouveaux standards applicables sont en l'occurrence la maison passive et les ouvrages MINERGIE.
Des bâtiments existants avec indices énergétiques caractéristiques de 150 à 200 kWh/m²a (540 à 720 MJ/m²a) pour le chauffage des locaux présentent un très gros potentiel d'économie d'énergie comparativement à des bâtiments qui satisfont aux exigences légales actuellement requises (environ 100 kWh/m²a ou 360 MJ/m²a) ou qui correspondent aux plus récents standards (MINERGIE environ 30 kWh/m²a ou 110 MJ/m²a, maisons passives env. 10 kWh/m²a ou 36 MJ/m²a).

Les réflexions suivantes doivent permettre de sensibiliser le maître d'ouvrage au problème de l'énergie, critère important au niveau du type de construction. Avec la collaboration de l'architecte et peut-être d'autres spécialistes, il convient en effet de définir suffisamment tôt à quelles exigences il faudra satisfaire en matière d'isolation thermique, de technique du bâtiment et d'énergie d'exploitation. Les intéressés doivent opter pour l'un ou l'autre standard de construction en ayant connaissance des différentes possibilités envisageables et en sachant ainsi pouvoir exercer une influence sur les frais d'exploitation de l'ouvrage pendant des dizaines d'années.

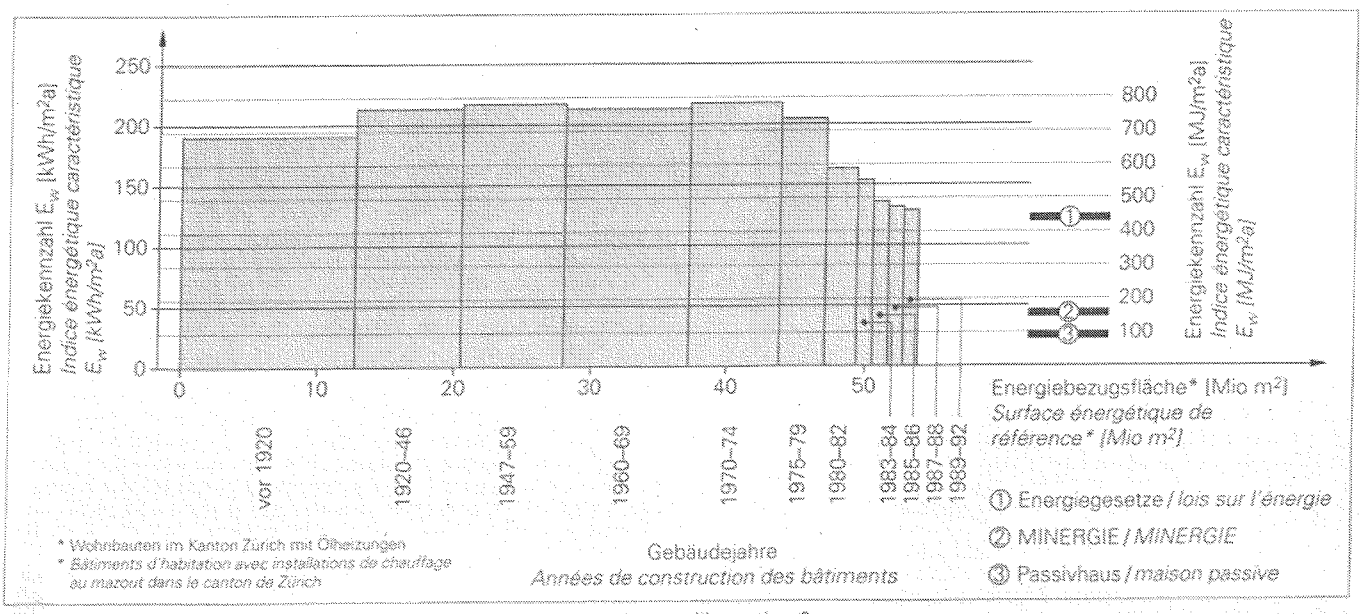


Abbildung 2:
Energiekennzahlen bestehender und neuer Bauten

Illustration 2:
Indices énergétiques caractéristiques de bâtiments neufs et existants

SCHWEIZER BAU DOKUMENTATION
Schweizer Baudokumentation
CH-4223 Blauen
Telefon 061 761 41 41
Telefax 061 761 22 33
www.baudoc.ch

AOT 00110
August 1999 0899

Energie im Bauwesen: Bautechnik

von Marco Ragonesi, dipl. Arch. HTL, Luzern

L'énergie dans le bâtiment: technique de la construction

par Marco Ragonesi, arch. dipl. ETS, Lucerne

Kapitel 1

Energiebilanz am Bau

1.1. Einflüsse auf den Energiebedarf und den Energieverbrauch

Der jährliche Energieverbrauch eines Gebäudes wird im Wesentlichen von folgenden Einflussfaktoren geprägt:
- Heizenergieverbrauch und evtl. Energieaufwand für Kühlung
- Energieaufwand für die Warmwassererzeugung
- Haushaltelektrizität für die Beleuchtung und den Betrieb von Geräten (dieser Verbrauch wird vor allem durch Auswahl von entsprechenden Lampen und Geräten beeinflusst)

Mittels Energiebilanz (z.B. nach SIA 380/1 «Energie im Hochbau») lässt sich der Einfluss der einzelnen Faktoren auf den jährlichen Energiebedarf errechnen. Bei dieser Berechnung wird von Standardnutzungen (z.B. für den Luftwechsel, Personenbelegungen usw.) ausgegangen. In der Betriebspraxis zeigen sich jeweils erhebliche Unterschiede betreffend den tatsächlichen Energieverbrauch von Gebäuden, je nach effektiver Nutzung.

Den Heizenergiebedarf beeinflussende Faktoren sind:
- Wärmeverlust durch Transmission
- Wärmeverlust durch Lüftung
- Energiegewinne durch
  - Sonneneinstrahlung
  - Personenabwärme
  - Elektroabwärme (Licht, Geräte)

Der Energiebedarf muss mit einem Heizsystem erzeugt und den Räumen zugeführt werden. Dabei entstehen Verluste (Aufbereitung, Speicherung und Verteilung), die mit dem Wirkungsgrad η der Heizung berücksichtigt werden. Wird der Energiebedarf mit dem Wirkungsgrad η der Heizung (z.B. $\eta = 0{,}85$) und dem Heizwert des eingesetzten Energieträgers (z.B. $H_u = 11{,}9$ kWh/kg Heizöl) dividiert, erhält man den Endenergieverbrauch, z.B. in kg Heizöl.

Bei Heizsystemen mit Wärmepumpentechnik (Verwendung von Umweltwärme aus Erdreich, Wasser oder Luft) wird statt vom Wirkungsgrad von einer Leistungsziffer oder einer Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe gesprochen. Die Jahresarbeitszahl gibt die aus einem Anteil Strom (Antriebsenergie der Wärmepumpe) erzeugte Wärme- bzw. Heizenergie an. Damit eine möglichst grosse Jahresarbeitszahl erreicht werden kann, soll
- eine gute Wärmepumpe eingesetzt werden (Vergleich von Testresultaten)
- eine hohe Wärmequellentemperatur vorhanden sein
- mit einer möglichst tiefen Heizungstemperatur (z.B. selbstregulierende Niedrigtemperaturbodenheizung) gefahren werden

Chapitre 1

Le bilan énergétique dans la construction

1.1. Influences sur la demande et la consommation d'énergie

La consommation annuelle d'énergie d'un bâtiment est essentiellement déterminée par les facteurs d'influence suivants:
- Consommation d'énergie de chauffage et éventuellement de réfrigération
- Consommation d'énergie pour la préparation d'eau chaude
- Consommation d'électricité pour l'éclairage et l'exploitation des appareils (cette consommation est avant tout influencée par le choix des lampes et appareils).

Moyennant un bilan énergétique (par exemple selon SIA 380/1 «L'énergie dans le bâtiment»), il est possible de calculer l'influence des différents facteurs sur la demande annuelle d'énergie. Pour procéder à ce calcul, on se base sur des conditions normales d'utilisation (par exemple pour le renouvellement de l'air, l'occupation des lieux par des personnes, etc.). Dans la pratique, on constate toutefois des différences considérables en ce qui concerne la consommation effective d'énergie des bâtiments en fonction de leur utilisation réelle.

Voici quelques facteurs capables d'influencer la demande d'énergie de chauffage:
- déperditions de chaleur par transmission
- déperditions de chaleur par ventilation
- gains d'énergie par
  - rayonnement solaire
  - chaleur dégagée par des personnes
  - chaleur dégagée par des appareils électriques (éclairage, appareils)

Pour couvrir la demande d'énergie et acheminer la chaleur jusqu'aux locaux, il convient de disposer d'un système de chauffage et de distribution. En l'occurrence, il survient des déperditions (préparation, accumulation et distribution) dont il est possible de tenir compte moyennant le rendement η du chauffage. En divisant la demande d'énergie par le rendement η du chauffage (par exemple $\eta = 0{,}85$) et la valeur calorifique nette ou minimale (par exemple $H_n = 11{,}9$ kWh/kg huile de chauffage), on obtient la consommation finale d'énergie, par exemple en kilos d'huile de chauffage.

Avec des systèmes de chauffage basés sur la technique de la pompe à chaleur (utilisation de la chaleur environnementale du sol, de l'eau ou de l'atmosphère), on parle, en lieu et place de rendement, d'un indice de performance ou indice annuel de travail (IAT). Cet indice annuel de travail correspond à la quantité d'énergie calorifique ou de chauffage produite à partir d'une certaine quantité de courant. Pour atteindre un indice annuel de travail aussi élevé que possible, il faut
- utiliser une bonne pompe à chaleur (comparer les résultats de tests)
- disposer d'une source thermique à température élevée
- travailler avec une température de chauffage aussi basse que possible (par exemple chauffage par le sol à basse température à autorégulation)

Transmission
Als Transmissionswärmeverlust wird der Wärmestrom durch Bauteile infolge Temperaturgefälle bezeichnet. Die Grösse dieses Verlustes ist einerseits von den klimatischen Randbedingungen abhängig (Aussen- und Innenlufttemperaturen) und kann andererseits durch die Qualität des Wärmeschutzes direkt beeinflusst werden. Das Mass für die Güte des Wärmeschutzes ist der Wärmedurchgangskoeffizient U (früher k-Wert) in W/m^2K, wobei gilt: Je kleiner der U-Wert, desto geringer ist der Energieverlust bei einem bestimmten Temperaturgefälle.

Transmission
Les déperditions de chaleur par transmission sont constituées par le flux de chaleur à travers des parties de construction consécutivement à une chute de température. L'importance de ces déperditions dépend d'une part des conditions climatiques (température extérieure et température ambiante) et peut d'autre part être directement influencée par la qualité de l'isolation thermique. La mesure de la qualité de l'isolation thermique est constituée par le coefficient de transmission thermique U (anciennement coefficient k) exprimé en W/m^2K; dans la pratique, cela se traduit par le fait que plus le coefficient U est petit, plus les déperditions d'énergie sont faibles pour une chute de température donnée.

Lüftung
Die Standardnutzung (SIA 380/1) geht, bei natürlicher Lüftung (Fenster, Türen, Fugen), von einem Aussenluftwechsel während der Heizperiode von $n = 0{,}4\ h^{-1}$ für Einfamilienhäuser und von $n = 0{,}5\ h^{-1}$ für Mehrfamilienhäuser aus. Daraus resultiert, bei lichten Geschosshöhen von 2,4 m, im Mittelland ein Energiebedarf für die Abdeckung der Wärmeverluste durch Lüftung von etwa 35 kWh/m^2a (125 MJ/m^2a).
Bei kontrollierter, mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) beträgt dieser Lüftungswärmeverlust nur noch etwa 7 kWh/m^2a (25 MJ/m^2a); er ist vom WRG-Wirkungsgrad und von der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle abhängig. Als Antriebsenergie fallen bei einer solchen Lüftung während der Heizperiode zusätzlich etwa 2 kWh/m^2a an. Gegenüber der herkömmlichen «Fensterlüftung» kann somit bei den Lüftungswärmeverlusten eine Reduktion von etwa 75 % erzielt werden.

Ventilation
Avec une ventilation naturelle (fenêtres, portes, joints), des conditions normales d'utilisation (SIA 380/1) correspondent, pour la saison de chauffage, à un renouvellement d'air extérieur de $n = 0{,}4\ h^{-1}$ pour des maisons unifamiliales et de $n = 0{,}5\ h^{-1}$ pour des maisons plurifamiliales. Avec des hauteurs d'étage de 2,4 m, il en résulte sur le Plateau une demande d'énergie d'environ 35 kWh/m^2a (125 MJ/m^2a) pour couvrir les déperditions de chaleur par ventilation.
Avec une ventilation mécanique contrôlée à récupération de la chaleur, ces déperditions ne sont plus que de 7 kWh/m^2a (25 MJ/m^2a); elles dépendent du rendement du système de récupération de la chaleur et de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Durant la saison de chauffage, l'énergie motrice nécessaire à une installation de ventilation mécanique correspond à un supplément d'environ 2 kWh/m^2a. Comparativement à une «ventilation conventionnelle par les fenêtres», il est ainsi possible de réduire les déperditions de chaleur par ventilation d'environ 75 %.

Energiegewinne
Auch ohne spezielle Solararchitektur steuert die Sonneneinstrahlung bei jedem Gebäude einen nicht zu unterschätzenden Energie-Input bei. Durch entsprechende Orientierung der Fenster (optimal ist die Südorientierung) und Wahl der Gläser (Energiedurchlassgrad g) kann dieser Energiegewinn beeinflusst werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass dieser Gewinn auch im Sommer wirksam ist und dann allenfalls zu unerwünschten Überhitzungen führt.
Weitere Energiegewinne leisten die Bewohner (mittlere Wärmeabgabe pro Person: 80 bis 100 Watt) und die Beleuchtung/Elektrogeräte durch ihre Abwärme.

Gains d'énergie
Même sans architecture solaire spéciale, le rayonnement solaire implique sur chaque bâtiment un input énergétique qu'il convient de ne pas sous-estimer. Moyennant une orientation correspondante des fenêtres (la solution optimale consiste à les orienter au sud) et un choix judicieux des vitrages (degré de transmission énergétique g), il est possible d'influencer ces gains d'énergie en tenant compte du fait que ceux-ci se produisent également en été et peuvent dès lors entraîner des surchauffes indésirables.
D'autres gains d'énergie sont imputables aux habitants d'un immeuble (émission moyenne de chaleur par personne: 80 à 100 W) ainsi qu'aux émissions de chaleur par l'éclairage et les appareils électriques.

Warmwassererzeugung
Für die Warmwassererzeugung stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:
- Öl- oder Gaskombikessel
- Wassererwärmung separat, elektrisch
- Solare Wassererwärmung, z.B. mit verglasten Flachkollektoren

Der Wärmebedarf für das Warmwasser beträgt gemäss SIA 380/1 etwa 833 kWh/Person·a (3000 MJ/Person·a) oder $Q_{ww} = 16{,}7$ kWh/m^2a (60 MJ/m^2a) bei Ein- und Zweifamilienhäusern bzw. $Q_{ww} = 27{,}8$ kWh/m^2a (100 MJ/m^2a) bei Mehrfamilienhäusern.

Préparation d'eau chaude
On dispose de différentes possibilités pour préparer de l'eau chaude:
- Chaudières combinées à mazout ou à gaz
- Préparation électrique séparée d'eau chaude
- Chauffage solaire de l'eau, par exemple à l'aide de capteurs vitrés plats

Selon SIA 380/1, la demande d'énergie pour l'eau chaude est d'environ 833 kWh/personne·a (3000 MJ/personne·a) ou $Q_{ec} = 16{,}7$ kWh/m^2a (60 MJ/m^2a) pour des maisons unifamiliales et bifamiliales, resp. $Q_{ec} = 27{,}8$ kWh/m^2a (100 MJ/m^2a) pour des maisons plurifamiliales.

Haushaltelektrizität
Die Standardnutzung (SIA 380/1) geht von einem Elektrizitätsverbrauch von 22 kWh/m^2a (Einfamilienhäuser) bzw. 28 kWh/m^2a (Mehrfamilienhäuser) aus und definiert so auch den Zielwert für Neubauten.
Bei MINERGIE- und Passivhaus-Bauten soll der jährliche Stromverbrauch nur noch etwa 17 kWh/m^2a betragen.
Damit ein entsprechend tiefer Verbrauch erzielt werden kann, ist bei der Planung und Erstellung von Gebäuden auf die Auswahl von energieeffizienten Geräten und Beleuchtungen zu achten. In der Praxis wird der effektive Elektrizitätsverbrauch wesentlich durch den Nutzer beeinflusst.

Electricité domestique
Les conditions normales d'utilisation (SIA 380/1) partent d'une consommation d'électricité de 22 kWh/m^2a (maisons unifamiliales) ou 28 kWh/m^2a (maisons plurifamiliales), définissant ainsi la valeur-cible pour des bâtiments neufs. Avec des maisons MINERGIE et des maisons passives, la consommation annuelle d'électricité ne doit se chiffrer qu'à 17 kWh/m^2a au maximum.
Pour parvenir à une consommation aussi faible, il convient, lors de l'étude et de l'exécution, de choisir des appareils et éclairages faisant un usage extrêmement efficace de l'énergie. Dans la pratique, la consommation effective d'électricité est essentiellement influencée par le comportement de l'usager.

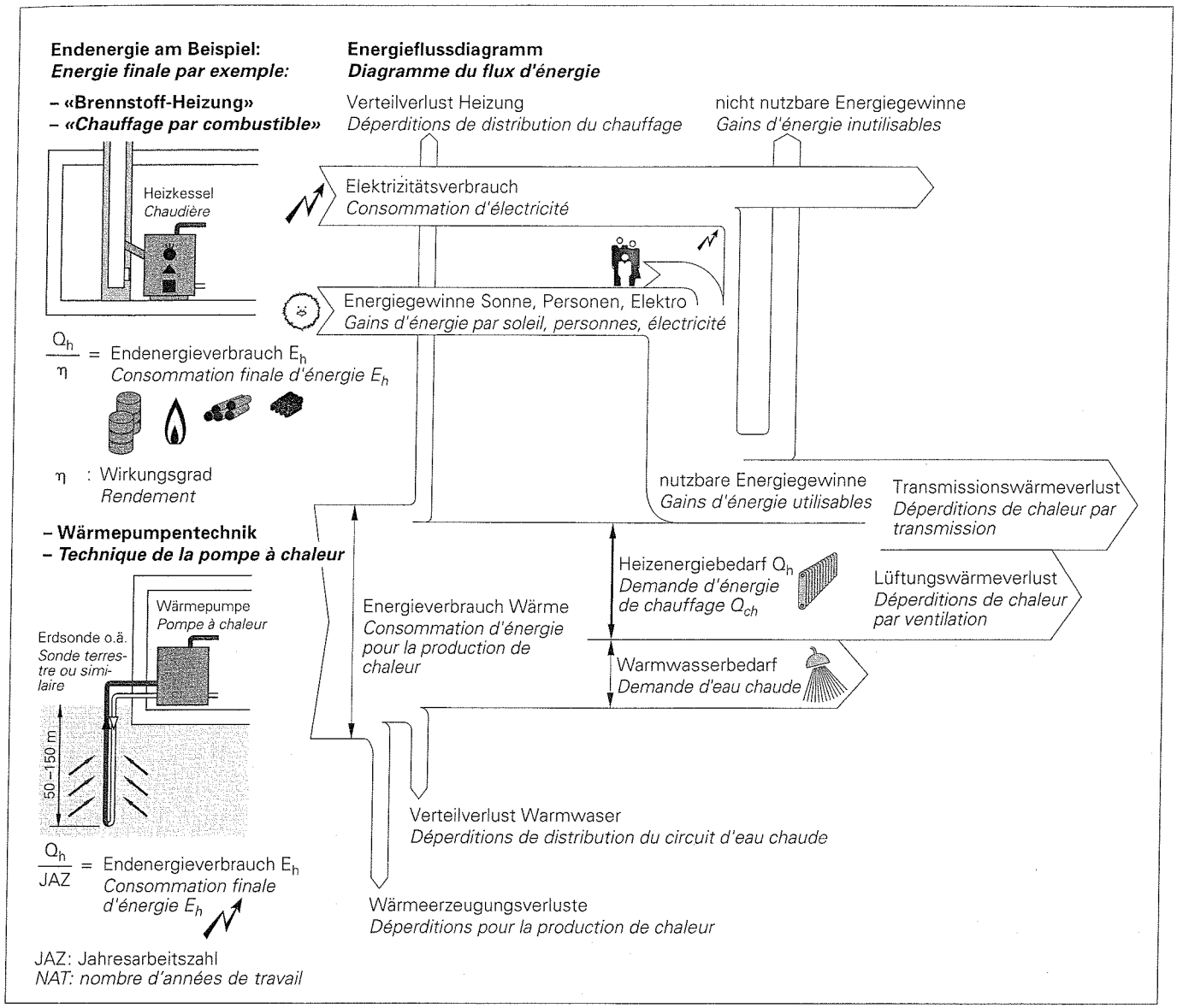


Abbildung 1:
Systematik der Energiebilanz am Gebäude / Deckung des resultierenden Energiebedarfs mit Heizung

Illustration 1:
Systématique du bilan énergétique d'un bâtiment / couverture de la demande résultante d'énergie avec le chauffage

1.2 Unterschiedliche Baustandards

Bei der Entscheidung, wie gebaut werden soll, sind teilweise philosophische Betrachtungen anzustellen: Über eine wie lange Nutzungszeit soll das System «Erstellung, Unterhalt, Betrieb» betrachtet werden, wie werden die nur endlich zur Verfügung stehenden fossilen Energieträger betreffend Verfügbarkeit und Beschaffungspreis beurteilt, wie werden umweltrelevante Gesichtspunkte bewertet, wie werden kalkulatorische Energiepreiszuschläge berücksichtigt usw. Als Grundlage für entsprechende Diskussionen, z.B. zwischen Bauherrschaft und Architekt, werden im Folgenden drei unterschiedliche Baustandards einander gegenübergestellt. Bei den angegebenen Kennwerten handelt es sich um Richtwerte; bei den objektspezifischen Nachweisen sind die entsprechenden Vorschriften zu beachten, die teilweise kantonal voneinander abweichen.

1.2 Standards de construction

Des réflexions philosophiques peuvent parfois entrer en ligne de compte au moment de choisir le standard de construction, à savoir: quelle est la période utile pendant laquelle le système «exécution, maintenance, exploitation» devra rester opérationnel? Que penser des réserves et du prix des supports fossiles d'énergie encore disponibles? Comment évaluer les intérêts écologiques? Faut-il tenir compte de suppléments de prix en matière d'énergie? etc. Comme base de discussion, par exemple entre le maître d'ouvrage et l'architecte, nous comparerons ci-après trois standards de construction différents. Les valeurs caractéristiques indiquées sont des valeurs indicatives; pour procéder à des justifications spécifiques à un objet, on tiendra compte des prescriptions correspondantes qui peuvent parfois présenter des différences d'un canton à l'autre.

Baustandard 1 «gesetzliche Anforderungen»
Bei den gesetzlichen Anforderungen, die den heute gebräuchlichsten Baustandard prägen, handelt es sich primär um kantonale Energiegesetze, die sich auf anerkannte Normen wie z.B. SIA 180 und 380/1 stützen. Diese beeinflussen den Wärmeschutz über Anforderungen an Einzelbauteile, so z.B. bei kleineren Gebäuden oder bei Gebäuden mit eher geringem Fensterflächenanteil. Heute sind bei Neubauten in etwa folgende Wärmedurchlasskoeffizienten U (bisher als k-Wert bezeichnet) einzuhalten:

Bauteile	U-Richtwerte [W/m²K]
– Bauteile gegen Aussenklima (Flach- und Steildächer, Aussenwände, Bodenkonstruktionen)	0,3
– Boden mit Flächenheizung	0,3
– Bauteile zu nicht beheizten Räumen oder Erdreich (Wände, Decken und Böden)	0,4
– Rahmenverbreiterungen	0,6
– Fenster, Fenstertüren, Türen und Tore	2,0
– Fenster vor Heizflächen	1,2

Dieser heute übliche Baustandard ist auch charakterisiert durch den Einsatz von hochwertigen Wärmedämmschichten bei Aussenbauteilen von etwa 10 cm Dicke oder, bei Aussenwänden, homogenen Konstruktionen mit Spezialsteinen von grosser Dicke.

Bei Änderungen bzw. Renovationen sind etwa um 0,1 W/m²K höhere U-Werte zugelassen.

Bei grösseren Gebäuden oder solchen mit hohem Fensterflächenanteil (z.B. grösser als 20 % der Energiebezugsfläche EBF) entspricht der Wärmeschutz dann den gesetzlichen Anforderungen, wenn der Heizenergiebedarf Q_h, berechnet nach SIA 380/1, kleiner ist als der Grenzwert H_g. Der Grenzwert H_g ist abhängig von der Gebäudekategorie (z.B. neue Wohnbauten mit Basiswert H_{g0} = 120 MJ bzw. 33,3 kWh) und von der Gebäudehüllenziffer A/EBF. Je kompakter ein Gebäude, desto tiefer wird der einzuhaltende Grenzwert für den Heizenergiebedarf, wobei diese «Energieeinsparung» ohne bautechnischen Mehraufwand erreicht wird, denn es gilt: Je kompakter ein Gebäude, desto geringer wird zwangsläufig der Heizenergiebedarf. Wie Abbildung 2 zeigt, ist deshalb das architektonische Konzept ein sehr effizienter Beitrag zu wärmetechnisch/energetisch optimalen Gebäuden.

Standard de construction 1 «exigences légales»
Les exigences légales concernant aujourd'hui le standard de construction le plus usuel sont en premier lieu les lois cantonales sur l'énergie qui s'appuient sur des normes reconnues telles que les normes SIA 180 et 380/1. Ces normes spécifient les exigences requises pour l'isolation thermique des différentes parties de construction, à savoir par exemple de petits bâtiments ou des immeubles comportant une faible proportion de baies et fenêtres. Aujourd'hui, pour des bâtiments neufs, on respecte généralement les coefficients de transmission de chaleur U suivants (anciennement coefficients k):

Parties de construction	Coefficients indicatifs U (W/m²K)
– Parties de construction directement exposées au climat extérieur (toits plats, toits à pans inclinés, sols sur vide sanitaire)	0,3
– Sol à chauffage intégré	0,3
– Parties de construction adjacentes à des locaux non chauffés ou au terrain (parois, sols et plafonds)	0,4
– Elargissements de cadre	0,6
– Fenêtres, portes-fenêtres, portes et grandes portes	2,0
– Fenêtres disposées devant des surfaces chauffantes	1,2

Usuel de nos jours, ce standard de construction est aussi caractérisé par l'utilisation de couches d'isolation thermique de haute qualité d'environ 10 cm d'épaisseur pour les parties de construction extérieures ou, pour des murs extérieurs, par des structures homogènes en briques spéciales de forte épaisseur.

En cas de travaux de transformation ou de rénovation, des coefficients U supérieurs d'environ 0,1 W/m²K sont admis.

Pour des bâtiments importants ou des immeubles comportant une proportion élevée de baies et fenêtres (proportion par exemple supérieure à 20 % de la surface de référence énergétique SRE), l'isolation thermique correspond aux exigences légales si la demande d'énergie de chauffage Q_{ch} calculée selon SIA 380/1 est inférieure à la valeur-limite H_{li}. La valeur-limite H_{li} dépend de la catégorie de bâtiment (par exemple nouveaux bâtiments d'habitation avec valeur de base H_{li0} = 120 MJ, resp. 33,3 kWh) et du coefficient A/SRE de l'enveloppe du bâtiment. Plus un bâtiment est compact, plus la valeur-limite à respecter pour la demande d'énergie de chauffage est basse, cette «économie d'énergie» étant réalisable sans plus-value technique du moment que s'applique la règle suivante: plus un bâtiment est compact, plus la demande d'énergie de chauffage est obligatoirement faible. Comme le montre l'illustration 2, le concept architectonique représente par conséquent une contribution très efficace à la réalisation de bâtiments optimisés techniquement et énergétiquement.

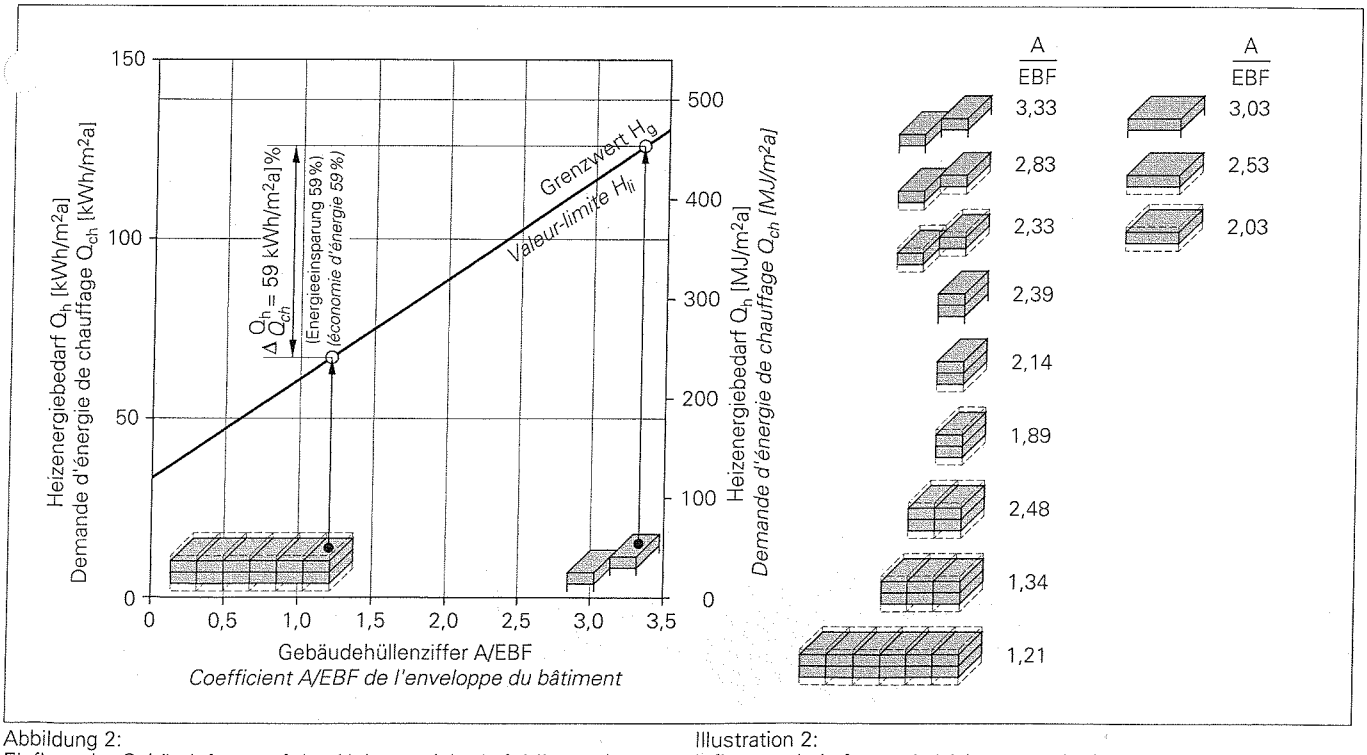


Abbildung 2:
Einfluss der Gebäudeform auf den Heizenergiebedarf: Mit zunehmend kompakterer Form wird auch der Heizenergiebedarf, bei analogen bautechnischen Randbedingungen, immer kleiner.

Illustration 2:
Influence de la forme du bâtiment sur la demande d'énergie de chauffage: plus la forme est compacte, plus la demande d'énergie de chauffage est faible dans des conditions techniques analogues.

Baustandard 2 «MINERGIE»

Die MINERGIE-Technik steht für rationelle Energieanwendung und für die Nutzung erneuerbarer Energie, bei gleichzeitiger Verbesserung der Behaglichkeit und Senkung der Umweltbelastung. Dieser Standard reduziert den Verbrauch von nicht erneuerbarer Energie auf ein nachhaltig tiefes Niveau. Wohnbauten müssen folgende Kriterien erfüllen, damit sie dem MINERGIE-Standard genügen:

- Neubauten dürfen eine Energiekennzahl Wärme (Heizung und Brauchwarmwasser) von nur 45 kWh/m²a (160 MJ/m²a) aufweisen, wobei nur dem Grundstück zugeführte, hochwertige Energie (Brennstoffe, direkt nutzbare Fernwärme) einzurechnen ist und die für die Wärmeerzeugung und Belüftung zugeführte Elektrizität doppelt gerechnet werden muss.
- Bei Bauten mit Baujahr vor 1990 beträgt die bei Sanierungen einzuhaltende Energiekennzahl Wärme 90 kWh/m²a (320 MJ/m²a).
- Für Haushaltelektrizität ist der Energieaufwand begrenzt auf 17 kWh/m²a (60 MJ/m²a).

Mit welchen Massnahmen kann der MINERGIE-Standard erreicht werden? Erfahrungen zeigen, dass dieser Standard in der Regel mit folgenden baulichen und haustechnischen Massnahmen erreicht werden kann:

- Architektonische Massnahmen wie kompakte Gebäudehülle und optimierte Gebäudeorientierung (grosse Süd-, kleine Nordfenster)
- Guter Wärmeschutz mit gegenüber dem Baustandard 1 erheblich verbesserten Bauteil-U-Werten (Bei Aussenbauteilen sind Wärmedämmschichten von etwa 20 cm Dicke erforderlich) und Bauteilübergängen ohne nennenswerte wärmetechnische Schwachstellen (Wärmebrücken):

Bauteile	U-Richtwerte [W/m²K]
– Bauteile gegen Aussenklima (Flach- und Steildächer, Aussenwände, Bodenkonstruktionen)	0,2
– Bauteile zu nicht beheizten Räumen oder Erdreich (Wände, Decken und Böden)	0,20 bis 0,30
– Fenster, Fenstertüren, Türen und Tore	≈ 1,4

- Luftdichte Gebäudehülle mit $n_{L,50}$-Werten von < 1,0 h^{-1}
- Während der Heizperiode mechanische Lüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung (WRG) und geringem Stromverbrauch
- Einsatz von erneuerbaren Energien, z.B. durch Verwendung von Wärmepumpentechnik (Erdwärme, Grundwasser) und Sonnenkollektoren (solare Wassererwärmung)
- Einsatz von Haushaltsgeräten mit möglichst geringem Stromverbrauch

Mit diesen baulichen und haustechnischen Massnahmen wird der Heizenergiebedarf gegenüber dem Baustandard 1 auf etwa 1/3 reduziert.

Standard de construction 2 «MINERGIE»

La technique MINERGIE s'applique à une utilisation rationnelle de l'énergie renouvelable tout en améliorant simultanément le confort et en abaissant la charge environnementale. Ce standard permet de réduire durablement la consommation d'énergie non renouvelable à un faible niveau. Des bâtiments d'habitation doivent répondre aux critères suivants pour satisfaire au standard MINERGIE:

- De nouveaux bâtiments doivent présenter un indice énergétique de chaleur (chauffage et préparation d'eau chaude) de 45 kWh/m²a (160 MJ/m²a) seulement; en l'occurrence, on ne comptera que l'énergie de haute qualité (combustibles, chaleur à distance directement utilisable) acheminée jusqu'au bâtiment, alors que l'électricité consommée pour faire fonctionner des installations de production de chaleur et de ventilation sera comptée à double.
- Pour des bâtiments construits avant 1990, l'indice énergétique de chaleur à respecter lors de travaux d'assainissement est de 90 kWh/m²a (320 MJ/m²a).
- Pour de l'électricité domestique, la dépense énergétique est limitée à 17 kWh/m²a (60 MJ/m²a).

Moyennant quelles mesures peut-on parvenir au standard MINERGIE? Différentes expériences ont démontré qu'il est généralement possible de parvenir à ce standard en appliquant les mesures techniques et architecturales suivantes:

- Mesures architectoniques telles qu'enveloppe compacte et orientation optimisée du bâtiment (grandes fenêtres au sud, petites fenêtres au nord)
- Bonne isolation thermique avec coefficients U considérablement améliorés par rapport au standard 1 (pour les parties extérieures, des couches d'isolation thermique d'environ 20 cm d'épaisseur sont nécessaires) et transitions entre parties de construction sans points faibles techniques (ponts thermiques) significatifs:

Parties de construction	Coefficients indicatifs U (W/m²K)
– Parties de construction directement exposées au climat extérieur (toits plats, toits à pans inclinés, sols sur vide sanitaire)	0,2
– Parties de construction adjacentes à des locaux non chauffés ou au terrain (parois, sols et plafonds)	0,20 à 0,30
– Fenêtres, portes-fenêtres, portes et grandes portes	≈ 1,4

- Enveloppe du bâtiment étanche à l'air avec coefficients $n_{L,50}$ <1,0 h^{-1}
- Pendant la période de chauffage, ventilation mécanique avec récupération efficace de la chaleur et faible consommation d'électricité
- Utilisation d'énergies renouvelables, par exemple utilisation de la technique de la pompe à chaleur (chaleur terrestre, nappe souterraine) et de capteurs solaires (chauffage solaire de l'eau sanitaire)
- Utilisation d'appareils électroménagers à consommation électrique la plus faible possible

Ces mesures techniques et architecturales permettent de réduire la demande d'énergie de chauffage d'environ 1/3 par rapport au standard de construction 1.

Baustandard 3 «Passivhaus»

Wenn ein behagliches Raumklima ohne Nutzungseinschränkung und ohne herkömmliche, statische Heizung erreicht wird, spricht man von Gebäuden, die dem Passivhaus-Standard genügen. Die noch erforderliche Heizenergie kann in solchen Gebäuden mit der Ersatzluftanlage (Heizregister) zugeführt werden.

Damit dies erreicht werden kann, ist in der Regel ein sehr geringer Heizenergiebedarf von < 15 kWh/m²a (54 MJ/m²a) und eine Heizleistung von nur noch etwa 10 W/m² erforderlich (Anmerkung: Der Heizenergiebedarf wird nicht auf die «höhenkorrigierte Brutto-Energiebezugsfläche» bezogen, sondern auf eine Netto-Energiebezugsfläche, ohne Innen- und Aussenwände!).

Standard de construction 3 «maison passive»

Lorsqu'on parvient à un climat ambiant confortable sans limiter l'affectation du bâtiment et sans faire usage d'un chauffage statique conventionnel, on parle de bâtiments qui satisfont au standard de la maison passive. Dans des bâtiments pareils, l'énergie de chauffage encore nécessaire fait l'objet d'une alimentation par l'intermédiaire d'une installation d'air de substitution (registre de tirage).

Pour y parvenir, il faut en règle générale pouvoir compter sur une très faible demande d'énergie de chauffage de < 15 kWh/m²a (54 MJ/m²a) et une puissance calorifique d'environ 10 W/m² seulement (remarque: la demande d'énergie de chauffage ne se rapporte pas à la «surface de référence énergétique brute corrigée», mais à une surface de référence énergétique nette, sans parois intérieures et extérieures!).

Die Realisierung von Passivhäusern stellt hohe Ansprüche an die verwendeten Komponenten; es werden Bauteile und Systeme benötigt, die höchste heute am Markt verfügbare Energieeffizienz aufweisen. Im Einzelnen sind folgende Kriterien einzuhalten:

- Architektonische Massnahmen wie kompakte Gebäudehülle und optimierte Gebäudeorientierung (grosse Süd-, kleine Nordfenster)
- Extrem guter Wärmeschutz (etwa 40 cm dicke Wärmedämmschichten) mit wärmebrückenfreier Ausführung der Bauteilübergänge:

Bauteile	U-Richtwerte [W/m²K]
– Bauteile gegen Aussenklima (Flach- und Steildächer, Aussenwände, Bodenkonstruktionen)	0,1 bis 0,15
– Bauteile zu nicht beheizten Räumen oder Erdreich (Wände, Decken und Böden)	0,15 bis 0,20
– Fenster, Fenstertüren, Türen und Tore	0,8

- Verglasungen mit möglichst hohem Energiedurchlassgrad (g-Wert ≥ 50 %) trotz tiefem U-Wert
- Luftdichte Gebäudehülle mit $n_{L,50}$-Werten von < $0{,}6^{-1}$
- Während der Heizperiode mechanische Lüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung (WRG) und geringem Stromverbrauch
- Einsatz von Haushaltsgeräten mit möglichst geringem Stromverbrauch

Beim Passivhaus beträgt der Heizenergiebedarf noch etwa 10 % des Wertes von Baustandard 1.

La réalisation de maisons passives implique des exigences élevées en ce qui concerne les composants utilisés; il faut en l'occurrence utiliser des éléments de construction et des systèmes qui garantissent la plus haute efficacité énergétique actuellement disponible sur le marché. Il convient en particulier de respecter les critères suivants:

- Mesures architectoniques telles qu'enveloppe compacte et orientation optimisée du bâtiment (grandes fenêtres au sud, petites fenêtres au nord)
- Extrêmement bonne isolation thermique (couches d'isolation thermique d'environ 40 cm d'épaisseur) avec exécution des transitions entre parties de construction exempte de ponts thermiques:

Parties de construction	Coefficients indicatifs U (W/m²K)
– Parties de construction directement exposées au climat extérieur (toits plats, toits à pans inclinés, sols sur vide sanitaire)	0,1 à 0,15
– Parties de construction adjacentes à des locaux non chauffés ou au terrain (parois, sols et plafonds)	0,15 à 0,20
– Fenêtres, portes-fenêtres, portes et grandes portes	0,8

- Vitrages à transmission énergétique aussi élevée que possible (coefficient g ≥ 50 %) malgré un faible coefficient U
- Enveloppe du bâtiment étanche à l'air avec coefficients $n_{L,50}$ < $0{,}6^{-1}$
- Pendant la période de chauffage, ventilation mécanique avec récupération efficace de la chaleur et faible consommation d'électricité
- Utilisation d'appareils électroménagers à consommation électrique la plus faible possible

Avec une maison passive, la demande d'énergie de chauffage ne se chiffre qu'à 10 % environ de la valeur du standard de construction 1.

Bauteile/Luftdichtigkeit/Haustechnik

In den Abbildungen 3a bis 3c sind für die drei unterschiedlichen Baustandards Bauteile zusammengestellt, die in etwa üblich sind, um die jeweiligen Anforderungen zu erfüllen, und es sind die Anforderungen an die Luftdichtigkeit und Hinweise zur Haustechnik angegeben.

Eléments de construction/étanchéité à l'air/technique domestique

Les illustrations 3a à 3c présentent quelques éléments pour les trois standards de construction, éléments qui doivent ordinairement satisfaire les exigences requises; parallèlement, nous indiquons les exigences requises en matière d'étanchéité à l'air et nos formulons quelques remarques relatives à la technique domestique.

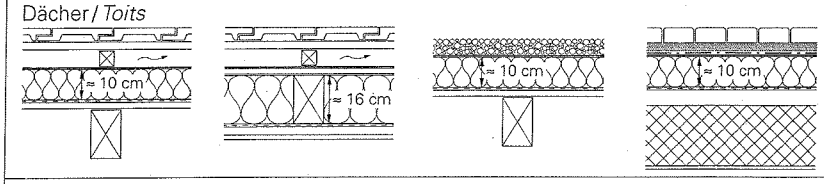
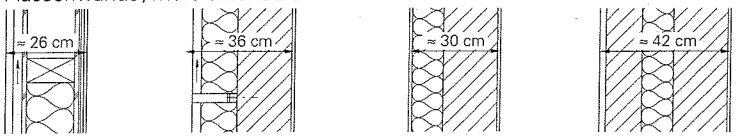
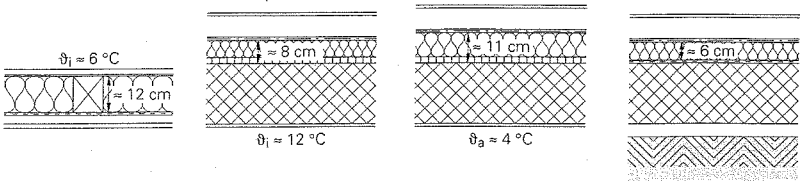
	Bauteile *Eléments de construction*	U-Wert *Coefficient U*	Luftdichtigkeit *Etanchéité à l'air*	Haustechnik *Technique domestique*
SIA 380/1, Energieverordnungen *SIA 380/1, ordonnances sur l'énergie*	Dächer/*Toits* 	0,3 W/m²K	$n_{L,50}$ = 2,5–4,0	Heizung *Chauffage*
	Aussenwände/*Murs extérieurs* 	0,3 W/m²K		
	Decken und Böden/*Sols et plafonds* 	0,3 W/m²K bis/*à* 0,4 W/m²K		
	Fenster Holz-, Holz-/Metall-, Kunststoffrahmen mit U_R = 1,5 – 2,0 W/m²K 2-fach-Isolierverglasung mit U_G = 1,1 – 1,6 W/m²K	*Fenêtres* *Cadre bois, bois/métal ou plastique avec U_R = 1,5 – 2,0 W/m²K* *Vitrage isolant double avec U_G = 1,1 – 1,6 W/m²K*	1,6 W/m²K (2,0 W/m²K)		

Abbildung 3a:
Baustandard betreffend Baukonstruktionen und Haustechnik:
SIA 380/1, Energieverordnungen (Grenzwerte)

Illustration 3a:
Standard de construction concernant la structure et la technique domestique: SIA 380/1, ordonnances sur l'énergie (valeurs limites)

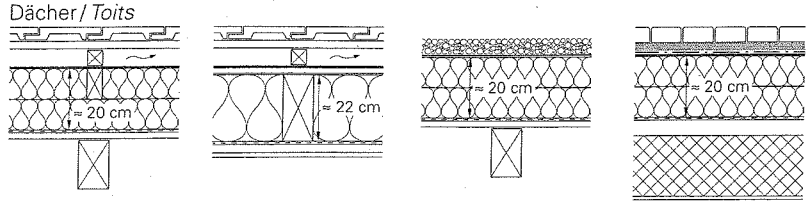
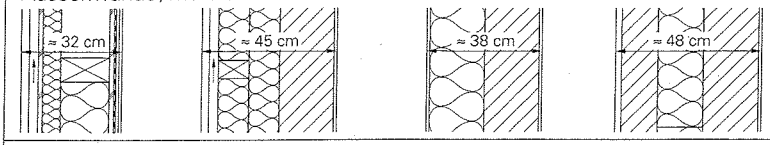
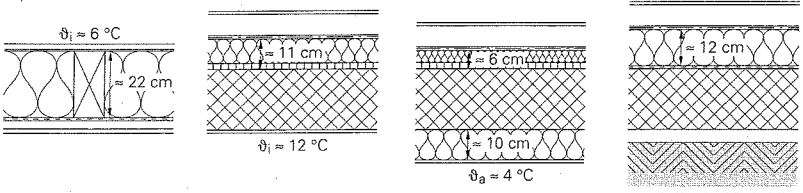
	Bauteile *Eléments de construction*	U-Wert *Coefficient U*	Luftdichtigkeit *Etanchéité à l'air*	Haustechnik *Technique domestique*
MINERGIE *MINERGIE*	Dächer / *Toits*  	0,2 W/m²K	$n_{L,50} \approx 1{,}0$	Heizung + Lüftung, Einsatz erneuerbarer Energie (z.B. Wärmepumpen, Sonnenkollektoren) *Chauffage + ventilation, utilisation d'énergie renouvelable (par exemple pompes à chaleur, capteurs solaires*
	Aussenwände / *Murs extérieurs*  	0,2 W/m²K		
	Decken und Böden / *Sols et plafonds*  	0,2 W/m²K bis 0,3 W/m²K		
	Fenster Holz-, Holz-/Metall-, Kunststoffrahmen mit $U_R \approx 1{,}5$ W/m²K 2-fach-Isolierverglasung mit $U_G \approx 1{,}1$ W/m²K	*Fenêtres* *Cadre bois, bois/métal ou plastique* *avec $U_R \approx 1{,}5$ W/m²K* *Vitrage isolant double* *avec $U_G \approx 1{,}1$ W/m²K*	≈ 1,4 W/m²K		

Abbildung 3b:
Baustandard betreffend Baukonstruktionen und Haustechnik: MINERGIE (Richtwerte)

Illustration 3b:
Standard de construction concernant la structure et la technique domestique: MINERGIE (valeurs indicatives)

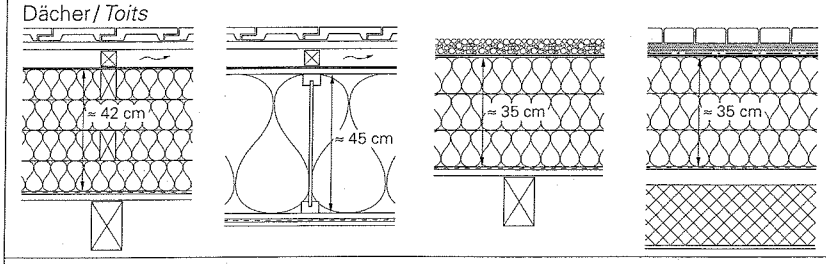
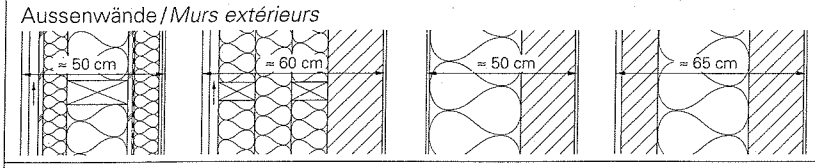
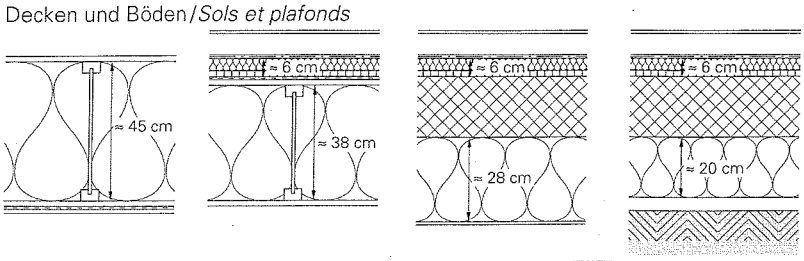
	Bauteile *Eléments de construction*	U-Wert *Coefficient U*	Luftdichtigkeit *Etanchéité à l'air*	Haustechnik *Technique domestique*
Passivhaus *Maison passive*	Dächer / *Toits*  	0,1 – 0,15 W/m²K	$n_{L,50} < 0{,}6$	Lüftung, evtl. Luftvorerwärmung über Erdkollektor, Einsatz erneuerbarer Energie (z.B. Wärmepumpen, Sonnenkollektoren) *Ventilation, év. préchauffage de l'air par un capteur terrestre, utilisation d'énergie renouvelable (par exemple pompes à chaleur, capteurs solaires)*
	Aussenwände / *Murs extérieurs*  	0,1 – 0,15 W/m²K		
	Decken und Böden / *Sols et plafonds*  	0,1 – 0,15 W/m²K		
	Fenster Evtl. spezielle Verbundrahmen mit $U_R \approx 0{,}8$ W/m²K 3-fach-Isolierverglasung mit $U_G \approx 0{,}5 - 0{,}7$ W/m²K	*Fenêtres* *Ev. cadre composite spécial* *avec $U_R \approx 0{,}8$ W/m²K* *Vitrage isolant triple* *avec $U_G \approx 0{,}5 - 0{,}7$ W/m²K*	0,8 W/m²K		

Abbildung 3c:
Baustandard betreffend Baukonstruktionen und Haustechnik: Passivhaus (Richtwerte)

Illustration 3c:
Standard de construction concernant la structure et la technique domestique: maison passive (valeurs indicatives)

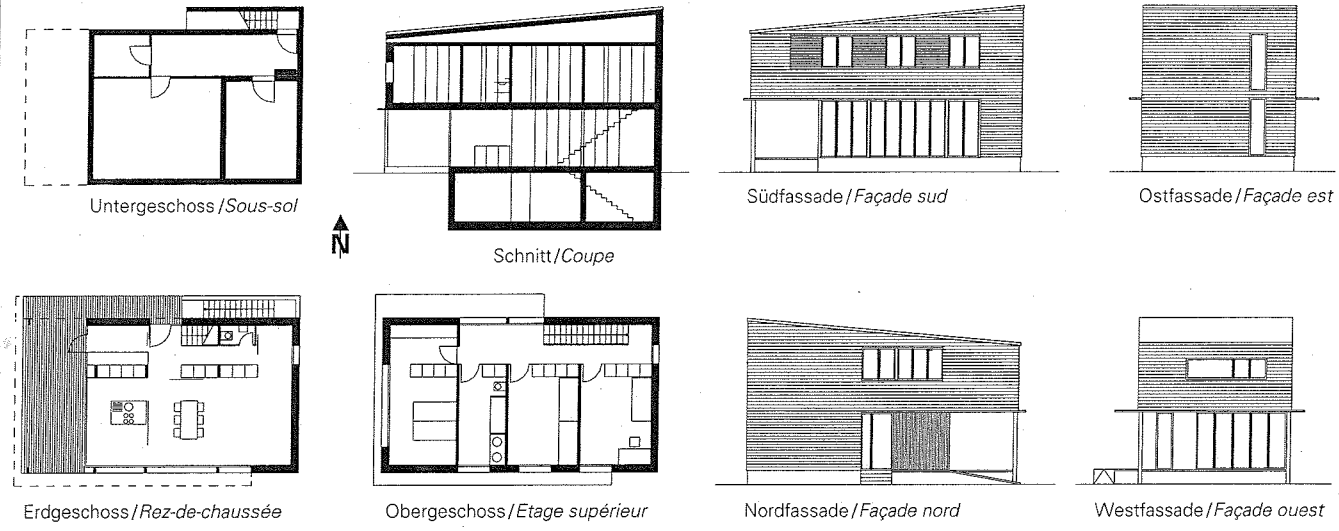
1.3. Gegenüberstellung von zwei Gebäuden mit drei unterschiedlichen Baustandards

Die folgenden Beispiele verdeutlichen den Einfluss des architektonischen Konzeptes (Gebäudehüllenziffer), des Wärmeschutzes (U-Werte von Bauteilen) und der Haustechnik (Heizung und/oder Lüftung) auf den Heizenergiebedarf und den Energieverbrauch. Es wird ein freistehendes Einfamilienhaus (eher grosse Gebäudehülle in Bezug auf die Energiebezugsfläche → grosse Gebäudehüllenziffer A/EBF) mit einem Mehrfamilienhaus (kleinere Gebäudehüllenziffer A/EBF) verglichen. Der Gebäudestandort befindet sich im Mittelland, es werden die klimatischen Randbedingungen der Klimastation «Zürich SMA» verwendet.

1.3. Comparaison de deux bâtiments en fonction de trois standards de construction différents

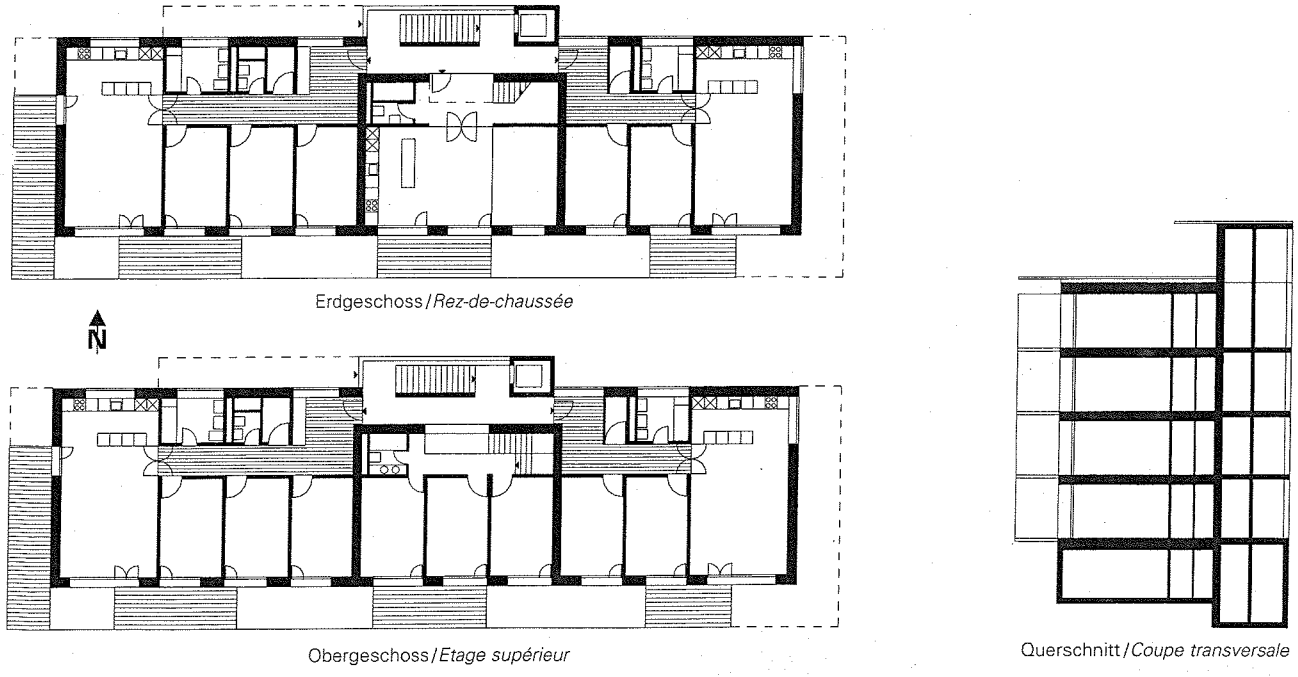
Les exemples suivants mettent en évidence l'influence du concept architectonique (indice de l'enveloppe du bâtiment), de l'isolation thermique (coefficients U d'éléments de construction) et de la technique domestique (chauffage et/ou ventilation) sur la demande d'énergie de chauffage et la consommation d'énergie. On va en l'occurrence comparer une villa familiale indépendante (plutôt grande enveloppe par rapport à la surface de référence énergétique → indice élevé de l'enveloppe du bâtiment A/SRE) avec une maison plurifamiliale (faible indice de l'enveloppe du bâtiment A/SRE). Les maisons sont situées sur le Plateau; on applique les conditions climatiques de la station météorologiques de «Zurich SMA».

Konzeptstudie für Einfamilienhaus (*)
Etude conceptuelle pour maison unifamiliale *(*)*



Gebäudehüllenziffer A/EBF = 2,38
→ Grenzwert H_g = 120 + 100 · (A/EBF) = 358 MJ/m²a bzw. 99 kWh/m²a
Indice de l'enveloppe du bâtiment A/EBF = 2,38
→ valeur limite H_{li} = 120 + 100 · (A/EBF) = 358 MJ/m²a ou 99 kWh/m²a

Projekt für Mehrfamilienhaus (*)
Projet de maison plurifamiliale *(*)*



Gebäudehüllenziffer A/EBF = 1,34
→ Grenzwert H_g = 120 + 100 · (A/EBF) = 254 MJ/m²a bzw. 71 kWh/m²a
Indice de l'enveloppe du bâtiment A/EBF = 1,34
→ valeur limite H_{li} = 120 + 100 · (A/EBF) = 254 MJ/m²a ou 71 kWh/m²a

* Architekten: Lischer & Zopp, Luzern
Architectes: Lischer & Zopp, Lucerne

Abbildung 4:
Gegenüberstellung der unterschiedlichen Gebäudetypologien EFH und MFH

Illustration 4:
Comparaison des typologies de la maison unifamiliale et de la maison plurifamiliale

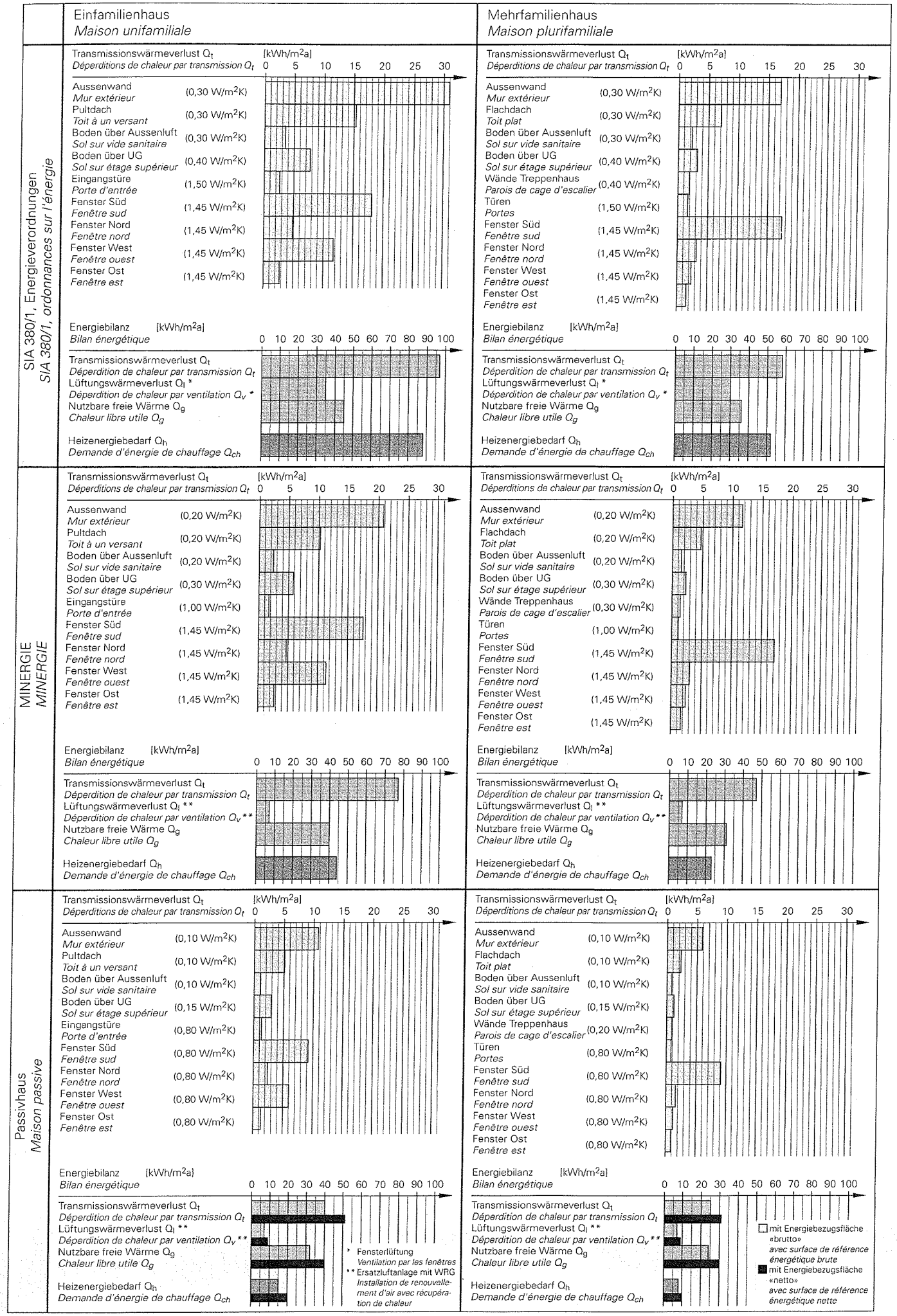


Abbildung 5:
Einfluss der Gebäudetypologie und der Baustandards auf die Energiebilanz

Illustration 5:
Influence de la typologie du bâtiment et du standard de construction sur le bilan énergétique

Interpretation der Resultate

Dass der Energiebedarf für die Beheizung erheblich von der Gebäudehüllenziffer A/EBF abhängt, geht bereits aus Abbildung 4 hervor:

- Beim Einfamilienhaus resultiert eine Gebäudehüllenziffer von 2,38 und ein einzuhaltender Grenzwert H_g für den Heizenergiebedarf von 99 kWh/m²a.
- Durch die kleinere Gebäudehüllenziffer beim Mehrfamilienhaus von A/EBF = 1,34 muss ein Grenzwert H_g von 71 kWh/m²a eingehalten werden; diese Reduktion auf etwa 72 % des Grenzwertes H_g vom Einfamilienhaus bedingt keinen besseren Wärmedämmstandard, diese «Energieeinsparung» resultiert nur durch die kompaktere Gebäudehülle!

In Abbildung 5 wird der Einfluss der Gebäudehüllenziffer anhand der Transmissionswärmeverluste Q_t noch detaillierter aufgezeigt. Innerhalb der gleichen Wärmedämmstandards resultieren beim Mehrfamilienhaus erheblich kleinere Verluste pro m² Energiebezugsfläche als beim Einfamilienhaus.

Abbildung 5 zeigt zudem den Einfluss der Massnahmen im Gebäudehüllen- und Haustechnikbereich auf den Heizenergiebedarf:

- Beim Einfamilienhaus resultiert beim Standard 1 «gesetzliche Anforderungen» ein Energiebedarf Q_h von 88 kWh/m²a. Bei einer Ölheizung mit Wirkungsgrad η = 0,85 würden pro Jahr etwa 1440 kg Heizöl benötigt, um das Gebäude zu beheizen.
  Durch verbesserten Wärmeschutz und eine Ersatzluftanlage kann beim Standard 2 «MINERGIE» der Energiebedarf (und somit auch der Energieverbrauch) um 50 % auf Q_h = 44 kWh/m²a reduziert werden. Unter Berücksichtigung eines Energiebedarfs von etwa 17 kWh/m²a für die Warmwassererzeugung und von etwa 1,5 kWh/m²a für den Betrieb der Lüftungsanlage resultiert ein Energiebedarf von etwa 62,5 kWh/m²a, der noch deutlich über dem MINERGIE-Grenzwert von 45 kWh/m²a liegt. Dieser Grenzwert wird aber dann eingehalten, wenn der Energiebedarf mittels Wärmepumpentechnik bereitgestellt wird.
  Beim Standard 3 «Passivhaus» wird der Wärmeschutz noch einmal erheblich verbessert und der Energiebedarf gegenüber dem Standard 1 um 83 % auf Q_h = 15 kWh/m²a reduziert. Dieser Energiebedarf entspricht einem äquivalenten Ölverbrauch von noch etwa 260 kg Heizöl pro Jahr. Weil beim Passivhaus-Standard der Energiebedarf auf die Nettowohnfläche bezogen wird, resultiert jedoch ein «spezifischer Energiebedarf» Q_h von etwa 20 kWh/m²a, womit die Passivhausanforderung ($Q_h \leq$ 15 kWh/m²a) wesentlich überschritten wird. Zudem resultiert bei diesem Einfamilienhaus auch eine Heizlast, die etwa 50 % höher ist als der Passivhausgrenzwert von 10 W/m². Trotz sehr gutem Wärmedämmstandard kann somit bei Gebäuden mit eher ungünstiger Gebäudehüllenziffer A/EBF der Passivhaus-Standard kaum je erreicht werden.
- Beim Mehrfamilienhaus resultiert beim Standard 1 «gesetzliche Anforderungen» ein Energiebedarf Q_h von 52 kWh/m²a. Bei einer Ölheizung mit Wirkungsgrad η = 0,85 werden pro Jahr etwa 6100 kg Heizöl benötigt, um das Gebäude zu beheizen.
  Beim Standerd 2 «MINERGIE» kann der Energiebedarf auf Q_h = 23 kWh/m²a reduziert werden. Unter Berücksichtigung eines Energiebedarfs von etwa 27,8 kWh/m²a für die Warmwassererzeugung und von etwa 1,5 kWh/m²a für den Betrieb der Lüftungsanlage, resultiert ein Energiebedarf von etwa 52,3 kWh/m²a. Der MINERGIE-Grenzwert von 45 kWh/m²a kann somit auch bei diesem Gebäude nur erreicht werden, wenn teilweise erneuerbare Energie eingesetzt wird.
  Beim Standard 3 «Passivhaus» beträgt der Energiebedarf Q_h noch 8 kWh/m²a (EBF brutto) bzw. 10 kWh/m²a (Nettowohnfläche). Die Passivhausanforderung wird damit problemlos eingehalten, auch die Heizlast ist kleiner als 10 W/m². Der Energiebedarf entspricht einem äquivalenten Ölverbrauch von noch etwa 900 kg Heizöl pro Jahr, dies ist gegenüber dem Standard 1 nur noch etwa 15 %.

Interprétation des résultats

L'illustration 4 fait immédiatement ressortir que la demande d'énergie de chauffage dépend énormément de l'indice de l'enveloppe du bâtiment A/SRE:

- Avec une maison unifamiliale, on a un indice de l'enveloppe du bâtiment de 2,38 et une valeur limite H_{li} à respecter pour la demande d'énergie de chauffage de 99 kWh/m²a.
- Avec le plus faible indice de l'enveloppe de la maison plurifamiliale de A/SRE = 1,34, il faut respecter une valeur limite H_{li} de 71 kWh/m²a. Cette réduction à environ 72 % de la valeur limite H_{li} pour la maison unifamiliale ne nécessite pas de meilleur standard d'isolation thermique; cette «économie d'énergie» résulte uniquement de l'enveloppe plus compacte!

L'illustration 5 présente d'une manière encore plus détaillée l'influence de l'indice de l'enveloppe du bâtiment en fonction des déperditions de chaleur par transmission Q_t. Pour de même standards d'isolation thermique, on constate en l'occurrence qu'une maison plurifamiliale enregistre des déperditions beaucoup plus faibles par m² de surface de référence énergétique qu'une maison unifamiliale.

L'illustration 5 fait en outre ressortir l'influence des mesures prises au niveau de l'enveloppe du bâtiment et de la technique domestique sur la demande d'énergie de chauffage:

- Pour une maison unifamiliale, le standard 1 «exigences légales» nous amène à une demande d'énergie Q_{ch} de 88 kWh/m²a. Pour une installation de chauffage au mazout avec rendement de η = 0,85, il faudrait environ 1440 kg de mazout par année pour chauffer le bâtiment.
  Avec une isolation thermique améliorée et une installation de renouvellement d'air, le standard 2 «MINERGIE» permet de réduire la demande d'énergie (et donc la consommation d'énergie) de 50 % à Q_{ch} = 44 kWh/m²a. En tenant compte d'une demande d'énergie d'environ 17 kWh/m²a pour la préparation d'eau chaude et d'environ 1,5 kWh/m²a pour l'exploitation de l'installation de ventilation, on parvient à une demande d'énergie d'environ 62,5 kWh/m²a qui est encore nettement supérieure à la valeur limite MINERGIE de 45 kWh/m²a. Il est toutefois possible de respecter cette valeur limite en couvrant une partie de la demande d'énergie par la technique de la pompe à chaleur.
  Avec le standard 3 «maison passive», l'isolation thermique est encore passablement améliorée et la demande d'énergie par rapport au standard 1 est réduite de 83 % à Q_{ch} = 15 kWh/m²a. Cette demande d'énergie correspond à une consommation équivalente d'environ 260 kg de mazout par année. Comme la demande d'énergie pour le standard de la maison passive se rapporte à la surface habitable nette, il en résulte cependant une «demande spécifique d'énergie» d'environ Q_{ch} 20 kWh/m²a, ce qui est nettement supérieur aux exigences requises pour une maison passive ($Q_{ch} \leq$ 15 kWh/m²a). Pour cette maison unifamiliale, il en résulte en outre une charge calorifique qui est d'environ 50 % supérieure à la valeur limite de 10 W/m² pour une maison passive. Malgré un très bon standard d'isolation thermique, il n'est donc guère possible de parvenir au standard de la maison passive avec des bâtiments caractérisés par un indice de l'enveloppe A/SRE plutôt défavorable.
- Pour une maison plurifamiliale, le standard 1 «exigences légales» débouche sur une demande d'énergie Q_{ch} de 52 kWh/m²a. Pour une installation de chauffage au mazout avec rendement de η = 0,85, il faut environ 6100 kg de mazout par année pour chauffer le bâtiment.
  Avec le standard 2 «MINERGIE», la demande d'énergie peut être réduite à Q_{ch} = 23 kWh/m²a. En tenant compte d'une demande d'énergie d'environ 27,8 kWh/m²a pour la préparation d'eau chaude et d'environ 1,5 kWh/m²a pour l'exploitation de l'installation de ventilation, on parvient à une demande d'énergie d'environ 52,3 kWh/m²a. La valeur limite MINERGIE de 45 kWh/m²a ne peut donc s'atteindre avec ce bâtiment qu'un utilisant une certaine part d'énergie renouvelable.
  Avec le standard 3 «maison passive», la demande d'énergie n'est plus que de Q_{ch} = 8 kWh/m²a (SRE brute) ou 10 kWh/m²a (surface habitable nette). Les exigences requises pour une maison passive sont ainsi facilement respectées et la charge calorifique est inférieure à 10 W/m². La demande d'énergie correspond à une consommation équivalente d'environ 900 kg de mazout par année, soit une consommation de 15 % seulement par rapport à celle du standard 1.