
Dipl.-Phys. Michael Nitze

Stadt Frankfurt - Hochbauamt

Abteilung Energiemanagement

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

energiemanagement(at)stadt-frankfurt.de

Schulmensen der Stadt Frankfurt

Erste Berichte aus Planung, Betrieb und Messung

Gliederung

- 1.1 Einleitung Schulmensen - Energetische Einordnung**
- 1.2 Verbrauchssektoren - Energiebilanz Schulmensa**
- 1.3 Klassifikation Schulmensen – Typisierung und Bilanzgrenzen**
- 1.4 Einflussfaktoren und Effizienzpotentiale – Geräte Grundriss
Nutzer**
- 1.5 Erfahrungen und Herausforderungen - Integrale Planung**
- 1.6 Energieverbrauch - Ausgewählte Objektbeispiele**
- 1.7 Ausblick**

1.1 Einleitung Schulmensen - Energetische Einordnung

Mit dem Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom 6.9.2007 (StVVB §2443) hat sich die Stadt Frankfurt Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen gegeben. Diese Leitlinien gelten alle Neubau- und Sanierungsvorhaben der Stadtverwaltung, städtischer Einrichtungen und Eigenbetriebe sowie für alle Gebäude, die im Rahmen von PPP-Modellen künftig für die Stadt Frankfurt errichtet werden.

Im Februar 2012 sind nunmehr 45 Passivhausprojekte in Betrieb und weitere 65 in Planung bzw. Bau. Die Bandbreite reicht dabei von Feuerwachen, Jugendhäusern, Kindertagesstätten, zu Schulen bzw. Schulerweiterungen, Sportfunktionsgebäuden und Turnhallen und eben auch Schulmensen. Die Anzahl der Mensen liegt bei 21 bezogen auf alle 110 Projekte.

Laut Bauordnungskatalog ist der Begriff Mensa mit Vollküche fest definiert, im



allgemeinen Sprachgebrauch wird jedoch oft der Begriff Cafeteria benutzt. In diesem Fachbeitrag werden nur Schulmensen betrachtet, die innerhalb eines Schulstandorts errichtet werden.

Abb. 1: Mensa-Gebäude als eigenständiger Baukörper

Betrachtet man die umgesetzten bzw. in Planung befindlichen Mensen, sind oft zugleich Räume mit reiner schulischer Nutzung zu finden. Diese reichen von Unterrichtsklassen über PC-Räume bis zu naturwissenschaftlichen Fachräumen.

Selbst die Nutzung der Küche und des Speisesaals schwankt zwischen reinem Mittagsbetrieb zu Ganztagesaufenthalt, aber auch Nutzung für Stadtteil-bezogene Veranstaltungen.



Abb.2: Neubau „Cafeteria“ mit Mensa im EG , Klassen im OG

Diese mögliche Bandbreite in der Nutzung und die ungenaue Bezeichnung kann bei der Vielzahl der Planungsbeteiligten zu unterschiedlichen Ergebnissen bei nicht eindeutig abgeglichenen Planungszielen führen.

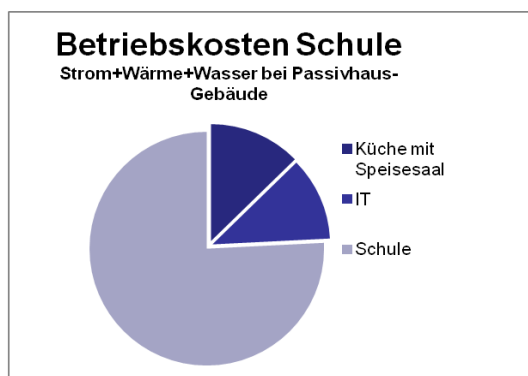
Hier sind durch eine Zielvereinbarung Missverständnisse von vornherein auszuschließen. Im späteren Betrieb sind auch für Medienzähler klare Kennzeichnungen nötig:

- „Gebäude“ Mensa mit Klassen
- „Mensa“ Küche und Speisesaal
- „Küche“

Falls nicht anders erwähnt, wird im Folgenden der Begriff Mensa benutzt für den Bereich Küche mit Nebenräumen, Lager und Kühlräumen sowie Speisesaal und spezifischen technischen Einrichtungen einer Schulmensa.

1.2 Verbrauchssektoren - Energiebilanz Schulmensa

Zur Zeit der Planung bestanden keine konkreten Passivhaus-Mensa-Planungshilfen und -Grenzwerte. Daher sind die jetzt realisierten Bauvorhaben eher zu charakterisieren als „Optimierung von Küchen in Passivhausbauten“. Aus den fertiggestellten Projekten, Simulationsmodellen und Auswertungen von



Medienzählern sind die Betriebskosten Schule in Abbildung 3 als „typisch“ dargestellt.

Unterteilt in drei energetische Zonen, stehen neben dem eigentlichen Schulgebäude die Küche mit Speisesaal und der Bereich IT deutlich hervor (IT: Netzwerkraum, 1 PC-Pool, IT-Verwaltung): Mensa und IT sind verantwortlich für ca. 25% der Kosten für Strom, Wärme und Wasser.

Abb.3: PH-Schule mit Mensa: typische Betriebskosten

Energetische Zonierung

- Schulgebäude mit Klassen
- IT-Technik
- Schulmensa

Für eine Mensa, mit mehreren Unterzählern versehen, ergeben sich exemplarisch ca. 7.000 Euro im Jahr. Die Aufteilung der Betriebskosten für die Schulmensa im Passivhausgebäude zeigt einmal den geringen Anteil Raumwärme und andererseits den Löwenanteil für Strom.

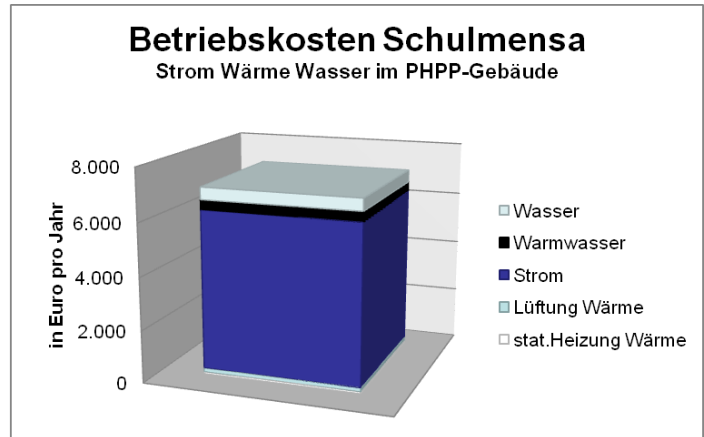


Abb.4 und Tab.1: Beispiel Betriebskosten einer Schulmensa

Betriebskosten Strom Wärme Wasser PPHP Schulmensa

Beispiel: EHEE-Küche

Kostenstelle	Menge	Einheit	Medium	€/a	Quelle:
stat.Heizung Wärme	1	MWh/a	Nutzwärme	74	3 kWh/qm
Lüftung Wärme	2,8	MWh/a	Nutzwärme	155	Zählung
Strom	29,4	MWh/a	Strom	6.045	Zählung
Warmwasser	6,7	MWh/a	Heizwärme	378	Zählung
Wasser	120,0	m3/a	Trinkwasser	461	Zählung
Summe				7.112	

Die Handlungsfelder treten noch deutlicher hervor, wenn diese Energiekosten auf die jeweils versorgten Flächen bezogen werden:



Die Betriebskosten Strom Wärme Wasser liegen für die energetische Zone Schulklassen bei ca. 7 €/qm*a, steigen auf ca. 16 €/qm*a für die Mensa und 128 €/qm*a für die IT (ein PC-Raum, Server, Standard-Netzwerktechnik).

Abb.5: Beispiel Verbrauchssektoren und Energiezonen

Innerhalb der Planung waren für dieses Beispiel diese Prioritäten für alle Beteiligten nicht von Anfang an erkennbar, durch die unpräzise Bezeichnung „Erweiterungsbau Schule Cafeteria und Klassen“.

Hier ist für jede Baumaßnahme die Abstimmung gemeinsamer Begriffsbildungen für alle Planungsbeteiligte wichtig. Dies geschieht sinnvollerweise für die verschiedenen beteiligten Fachdisziplinen über eine gemeinsame Zielvereinbarung, die Mengen und Qualitäten für Gebäude und Räume festlegt und auch Anforderungen für Bedienung und Betrieb enthält.

In der Strukturierung im Sinne der festgelegten Ziele sind verschiedene Planungsebenen zu unterscheiden:

Prozessebene

Für die Mensen (Vollküche mit Speisesaal) werden die notwendigen Anlagen in verschiedene Prozessebenen eingeteilt. Diese Einteilung ist sinnvoll, da je nach Energieversorgung oder Randbedingung die technischen Lösungen je Prozess unterschiedlich ausfallen können.

- Standard Haustechnik Passivhaus: Licht, Speisesaal Lüftung
- Geräte 230 V
- Speisenausgabe
- Kochen
- Kühlen/Gefrieren
- Entsorgen
- Hilfsmittel

Zähl- und Messebene

Über die Versorgungsstruktur im Gebäude werden die Energien für die Prozesse über verschiedene Zähllebenen bereitgestellt.

Im Passivhaus ist es unwirtschaftlich, für die statischen Heizflächen eine separate Versorgung mit Zählung aufzubauen. Für die Stadt Frankfurt wurde zudem vereinbart, dass der Speiseraum nicht dem Kochbereich zugeordnet wird. Damit ist der Küchenbereich an Catering-Unternehmen vermietbar, der Speisesaal für schulische oder ortsteilbezogene Aktivitäten frei nutzbar.

Bei vergleichenden Zählerauswertungen „Benchmarking“ sind daher die Zählbezeichnungen „Mensa“ derart zu präzisieren, dass der Zählbereich Solitärgebäude, Mensa mit Speisesaal oder nur Küche (mit Vorrat) erkennbar ist.

Anlagenebene

In der Anlagenebene sind die je nach Gebäude unterschiedlichen haustechnischen und küchenspezifischen Anlagen zusammengestellt. Die nominellen Anschlusswerte sind Grundlage für die Dimensionierung der Versorgungsstränge

Beispiel Entsorgen

- Spülmaschine 22 kW
- Dunstabzug Küche 3 kW
- Hebeanlage 3 kW
- Raumluft Küche 1,8 kW
- Fett-Begleitheizung 0,2 kW
- Konfiskatkühler 0,33 kW

Nutzungsebene

In der Nutzungsebene werden den Anlagen Nutzungszeiten zugeordnet (aus der Zielvereinbarung). Aus diesen sind Anlagenbetriebszeiten zu ermitteln, die vom technischen Standard der Geräte abhängen. Mit der Gleichzeitigkeit der Anlagen ergibt sich dann die anzusetzende Leistung für 15-min-Lasten und die Jahresenergiemengen.

Beispiel Nutzungsebene: Entsorgen

Installierte Leistung: 30,33 kW

Nutzungszeit: 5 h am Tag in 40 Wochen im Jahr ergeben 1.000 h/Jahr

Gleichzeitigkeit 15 min: 0,3 -

Vollbenutzungsstunden: 300 h/a

Effektive Leistung 15 min: 9,1 kW

berechn. Stromverbrauch.: 9.100 kWh/a

Ergebnisebene

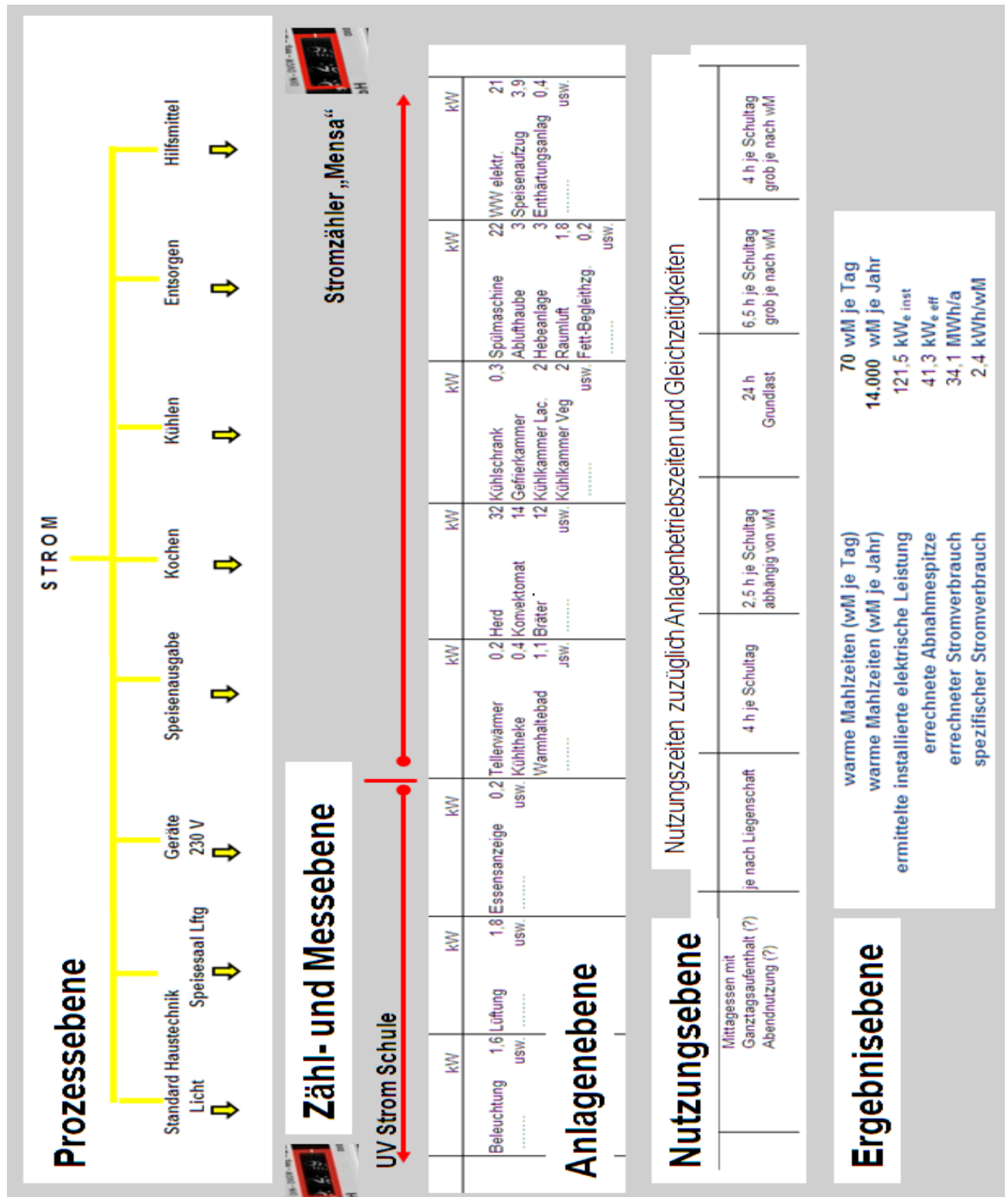


Abb.6: Beispiel Energiebilanz Strom in Schulmensa

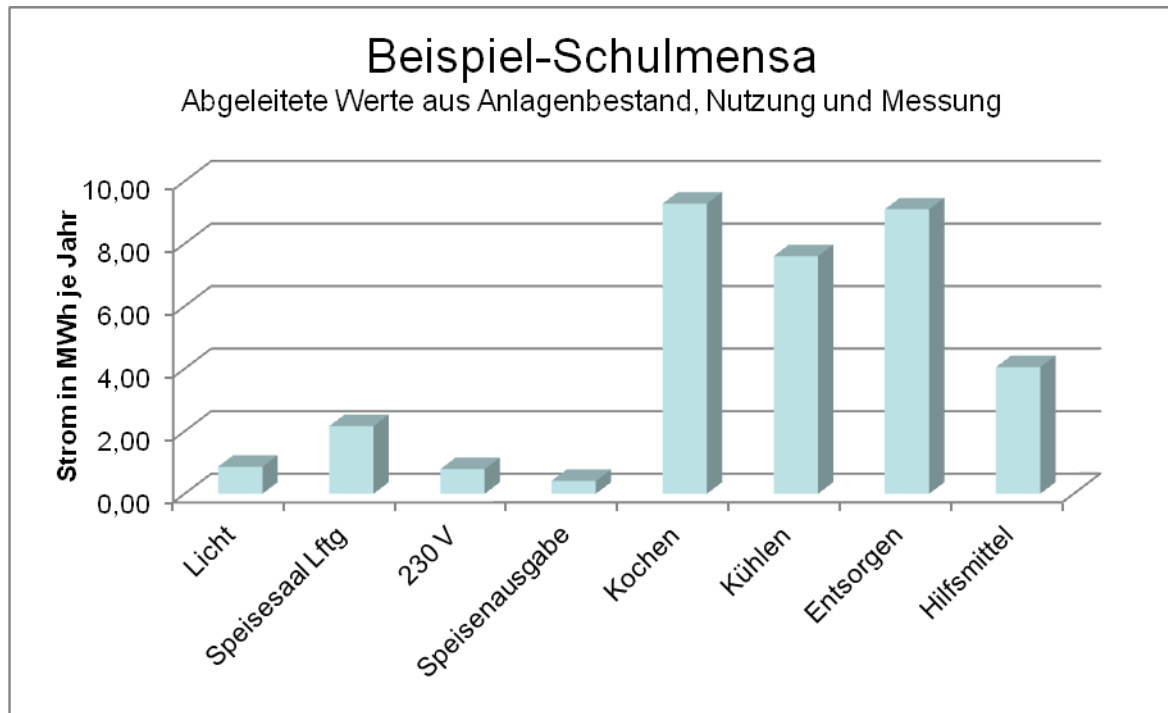


Abb.7: Beispiel Ergebnis Jahresstromverbrauch in Schulmensa

Für die betrachtete Schulmensa gehen die Prozesse Kochen, Kühlen und Entsorgen zu je gut 20% in den Verbrauch ein. Erwähnenswert ist hierbei, dass der Bereich Kühlen/Gefrieren zwar mit nur 2,9 kW also weniger als 3 % an der installierten Geräteleistung steht, aber für ca. 22 % des Jahresstromverbrauchs. Dies ergibt sich aus dem ganzjährigen Betrieb der Kühl- und Tiefkühlräume von 8.760 h im Jahr.

1.3 Klassifikation Schulmensen – Typisierung und Bilanzgrenzen

Um die Jahresverbrauchsmengen bewerten zu können, sind zumindest grobe Abgrenzungen der Zählungen notwendig.

Mensen als separates Gebäude, Mitnutzung des Speiseraumes für schulische oder andere Zwecke verändern die Werte ebenso wie die Versorgung von Teilen der Mensa mit Haustechnik aus anderen Stromkreisen im Gebäude z.B. Hebeanlage, Reinwasserbereitung o.ä.

Zugleich ist für die genannten Prozesse eine Versorgung mit unterschiedlichen Medien möglich, wie z.B. Kochen mit Gas. Aus den angetroffenen Mensen wird nach Prozess und Energieträger eine Typisierung vorgeschlagen:

Schulmensen: Typisierung					
Zuordnung Prozess und Energieträger					
Kenennung	Raumheizung stat.Hzgz./Lftg.	Passivhaus- Haustechnik	WarmWasser	Kühlen Entsorgen	Kochen
4E-Küche	Heizung (H)	Strom (E)	Strom (E)	Strom (E)	Strom (E)
EHEE-Küche	Heizung (H)	Strom (E)	Heizung (H)	Strom (E)	Strom (E)
EHEG-Küche	Heizung (H)	Strom (E)	Heizung (H)	Strom (E)	Gas (G)
EHEB-Küche	Heizung (H)	Strom (E)	Heizung (H)	Strom (E)	Biogas (B)

Tab.2: Vorschlag für Typisierung Mensen

Die Spanne reicht dabei von der 4E-Küche komplett stromversorgt bis zur EHEB-Küche mit Warmwasser aus vorhandener Heizungsanlage und Kochen mit Biogas, in dem einen angetroffenen Fall als Gärprodukt firmeneigener biogener Abfälle und Abwässer.

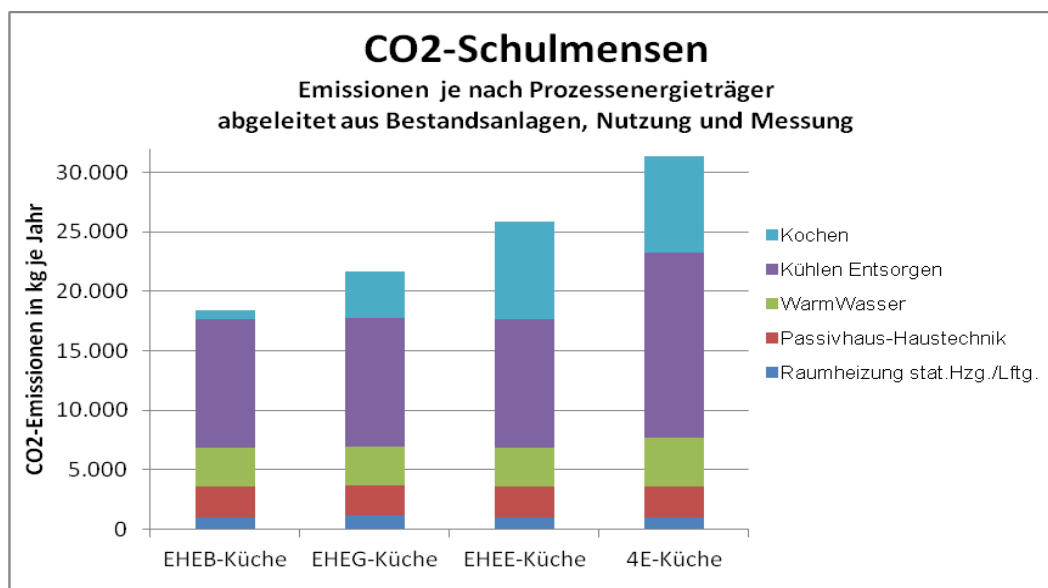


Abb.8: CO₂-Emissionen für Schulmensen je nach Typisierung

Die zurechenbaren CO₂-Emissionen können durch Wahl der Energieträger um mehr als 40% reduziert werden. Eingerechnet sind bei Kochen mit Gas eine höhere Verlustenergie und die daraus resultierende erhöhte Abluftmenge in der Küche.

1.4 Einflussfaktoren und Effizienzpotentiale – Geräte Grundriss Nutzer

Prinzipiell gelten für den Energieverbrauch immer die folgenden Einflussfaktoren:

- Auswahl der technischen Anlage
- Bauliche Situation
- Nutzer und Bedienung

Für den Bereich Kühlung und Tiefkühlung soll beispielhaft das Effizienzpotential betrachtet werden. Für einen Tiefkühlraum mit ca. 8 m³ (1,90m x 1,90m x 2,12m) wurde bei Recherchen ein Hersteller A ermittelt, der eine Tiefkühl-Zelle komplett mit einem Kältekompressor von ca. 1.300 W anbietet. Bei einem anderen Hersteller sind 900 W als Anschlusswert gelistet. Verbrauchsangaben kWh in 24 h fehlen bei beiden, zumal es auch noch keinen festgelegten Testzyklus gibt. Laut Modellbeschreibung variieren jedoch die Dämmmaterialien und die Dämmstärken, was in geringeren Nettovolumina resultiert. Zudem ist die Effizienz (COP-Koeffizient) des Kälteaggregats unterschiedlich.

Da es sich bei den Tiefkühlräumen meist um Bauteile handelt, die erst vor Ort zusammengebaut werden, sind Luftwechsel- und Fugenverluste erst nach konkretem Einbau anzugeben.

Ergebnis der Recherche für Tiefkühlräume: Spannweite 2:1.

Aus Anlass der Fragestellung „Grundriss Optimierung der Aufstellung Tiefkühl-Zelle“ wurde der Einfluss der baulichen Integration eines Tiefkühlraumes betrachtet:

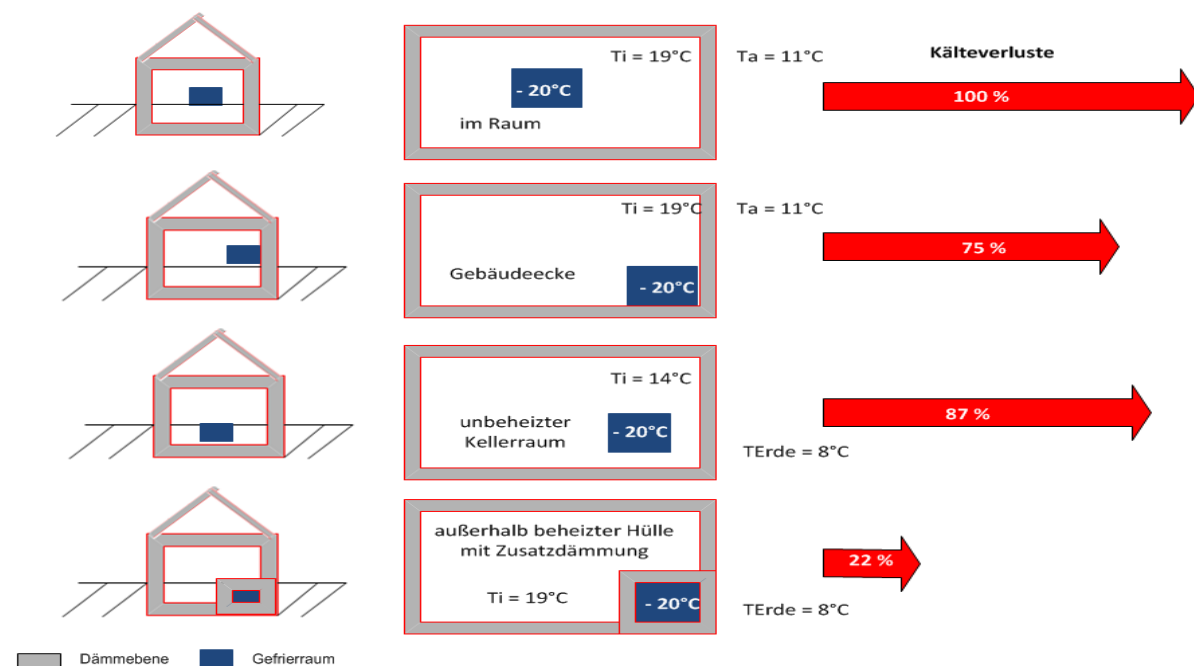


Abb.8: Einfluss Grundriss Küche Tiefkühlzelle

Kurzbeschreibung der Varianten (Daten siehe Abbildung 9)

- Platzierung im Bereich Küche mitten im beheizten Volumen
- Platzierung am Rand unter „Nutzung“ der Dämmung der Außenwand
- Platzierung im „unbeheizten Keller“
- Platzierung außerhalb der beheizten Hülle mit Zusatzdämmung

Eine Reduktion der Kälteverluste über die Wandflächen um 80% ist möglich. Die letzte Variante bedeutet eine thermische Zonierung der Mensa nach dem altbekannten Prinzip „Kartoffelkeller in kühle Zonen“

Die obige Berechnung ist qualitativ: Einflussfaktoren wie Fugenundichtigkeiten, innere Abwärme wegen Licht und Luftwechsel beim Türöffnen sind additiv zu betrachten.

Bei Standardlösungen beträgt der Stromverbrauch „Kühlen und Kälte“ in Schulmensen etwa 20%. Für den Tiefkühlraum ist dabei durch Kombination technischer und baulicher Lösungen eine Stromeffizienzverbesserung in der Größenordnung Faktor 10 machbar.

1.5 Erfahrungen und Herausforderungen - Integrale Planung

Die Schulmensen mit Vollküche sind durch ihre technischen Einbauten nur innerhalb einer integralen Planung effizient realisierbar. Grundlage sind Nutzungsfestlegungen die in Zielvereinbarungen formuliert werden müssen. Gesamtkostenberechnung und Energiebilanzierung sind dabei wichtige Hilfsmittel der Planung und sollten nicht nur nachträgliche Berechnung eines fachbeteiligten Planers sein. Wirtschaftliches Bauen wird wesentlich durch eine sorgfältige, abgestimmte Planung erreicht.

Die Skalierbarkeit der Anzahl der warmen Mahlzeiten ist ebenso zu Planungsbeginn zu betrachten, wie die Vorbereitung zum Lastabwurf (Einbau von Steuerkabeln und Platzvorhaltung für das E-Max-Gerät in der Unterverteilung Küche).

Für die Nutzer sind ein „Szenario-Bedientableau“ (Vorbereiten, Kochen, Essensausgabe, Spülen, Reinigen, „Nachtbetrieb“) ebenso zu planen wie die Erstellung eines Gebäudebetriebsorders mit wesentlichen Bedienungsanleitungen und Parametern.

Das Einrichten von Verbrauchszählern sowie ein Monitoring nach 2 Betriebsjahren runden die integrale Planung ab und sichern das notwendige Qualitätsmanagement.

Für Kommunen empfiehlt sich zudem eine stadtteilbezogene Planung, die eine Vollküche mit Warmlieferung an Satellitenküchen als eine Einheit abbildet. So kann die mehrfache energieintensive Tiefkühlbevorratung entfallen und die Skalierbarkeit erhöht werden.

1.6 Energieverbrauch - Ausgewählte Objektbeispiele

Nach mehrjähriger Planungs- und Bauzeit wurden von der Stadt Frankfurt im Jahr 2011 einige Mensen fertiggestellt. Die Inbetriebnahmen liegen dabei zum Teil erst im zweiten Halbjahr 2011, weshalb ein „regulärer“ Betrieb nach Startphase nur wenige Monate beträgt. Für ausgewählte Objektbeispiele wurde daher exemplarisch der Energieverbrauch 2011 ermittelt.

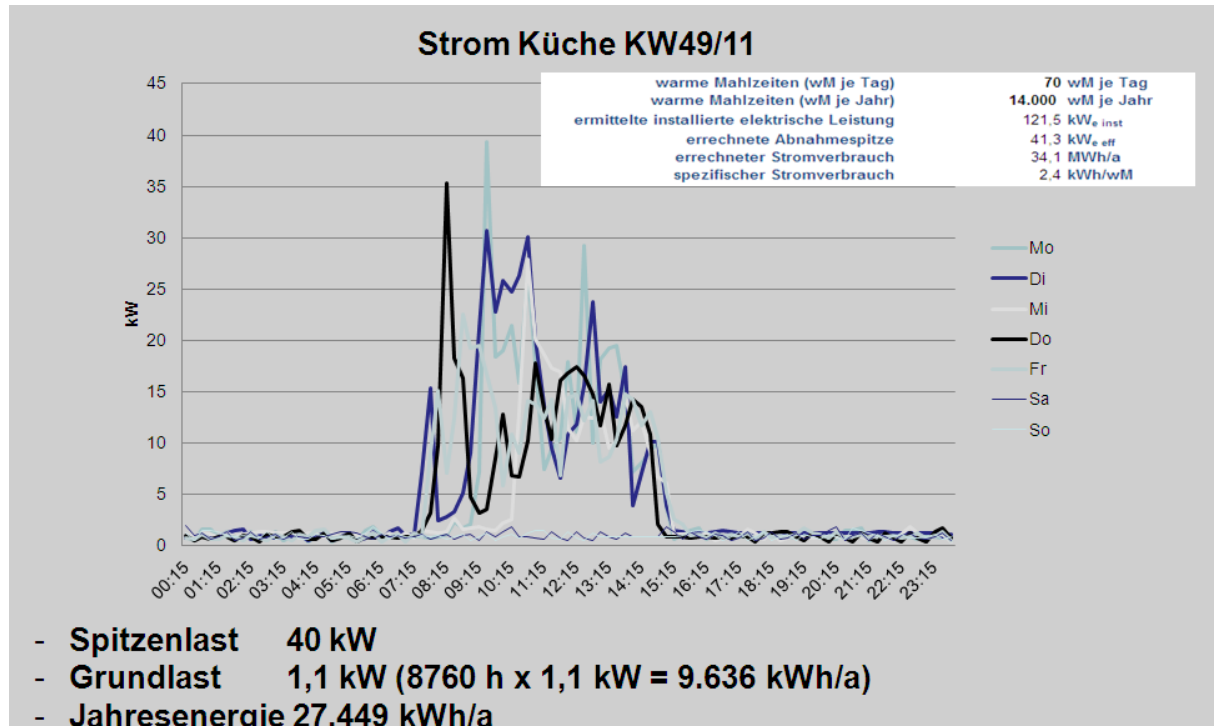


Abb.9: Lastgang Strom Küche (ohne Speisesaal)

In Kapitel 1.2 wurde für ein Beispiel der installierte Anlagenbestand ermittelt und eine Planungs-Energiebilanz aufgestellt.

Abbildung 9 zeigt nun die gemessenen Lastgänge einer Woche, die zur Anschauung übereinander dargestellt wurden. In der Abbildung sind oben die berechneten Bilanzwerte aus Kap. 1.2 eingeblendet, in der Fußzeile finden sich die gemessenen Werte.

- | | | | |
|--------------------------------|------------|------------------|------------|
| • Gemessene 15-min Spitzenlast | 40 kW | berechnete Last | 41 kW |
| • Gemessene Grundlast | 1,1 kW | | |
| • Gemessene Jahresenergie | 27,5 MWh/a | berechnete Menge | 34,1 MWh/a |
| • Gemessene Grundlast | 9,6 MWh/a | berechnete Kälte | 9,1 MWh/a |
| | 35% | | 22% |

Die gemessenen Verbrauchswerte liegen u.a. niedriger, weil eine Teilbelieferung mit vorgekochten Essensteilen aus einer Zentralküche erfolgt.

Nicht für alle Schulmensen, die Anfang Februar in Betrieb waren, lagen schon die EVU-Rechnungen vor. Die übermittelten Rechnungen bzw. Ablesungen tragen zwar die Bezeichnung „Mensa“ sind aber noch als vorläufig zu betrachten. Diese Werte zeigt Tabelle 3.

Messung	Energie Hochrechnung aus unterjährigen Ablesungen incl. Anlaufzeiten						
	Gas Kochen	Strom	Warme Mahlzeiten	Warme Mahlzeiten	spez. Strom	spez. Gas	Messzeit
	Hochrechnung auf 1 Jahr MWh/a	Hochrechnung auf 1 Jahr MWh/a	wM je Woche	Hochrechnung auf 1 Jahr wM im Jahr	kWh/wM	kWh/wM	MWh/a
GGY		49,6		-			10 Mo
MSS		30,3	200	8.000	3,8		4a 4Mo
HHS		20,6	377	15.080	1,4		16 Monate
IGN		7,3	200	8.000	0,9		4 Monate
LOES		29,9	350	14.000	2,1		24 Monate
BS	22,3	50,7	255	10.200	5,0	2,2	3 Monate
CMS	9,4	16,3	255	10.200	1,6	0,9	6 Monate

Ablesewerte für Mensa allein nicht plausibel

Tab.3: Energieverbrauch Schulmensen (Hochrechnung aus unterjährigen Ablesungen)

Anmerkungen:

- Unterjährige Zählungen mit Anlaufphase für Hochrechnung noch zu unsicher
- Typisierung der Mensen noch offen (Bestandsdokumentation noch nicht vollständig übermittelt)
- Zählbereich „Mensa“ prüfen: Einschluss / Ausschluss schulischer Räume
- Aufschaltung auf die automatische Verbrauchserfassung hat begonnen
- Datenbasis für Anzahl warme Mahlzeiten: Planungs- oder IST-Werte

1.7 Ausblick

Schulmensen in Passivhausgebäuden können mit am Markt vorhandenen Techniken und Geräten schon heute mit einer Effizienz errichtet und betrieben werden, die bei der Hälfte einer Standard-Küche liegt.

Wirtschaftliches Bauen wird insbesondere für Schulmensen nur durch eine sorgfältige, abgestimmte integrale Planung erreicht.

Zum Erreichen der Effizienz sind in diesem Fachbeitrag wichtige Schritte dargestellt. Eine Evaluierung auf Basis des bisherigen Wissens ist möglich.

Für die Stadt Frankfurt werden parallel zu den Inbetriebnahmen die Neu- und Erweiterungsbauten von Mensen in die vorgeschlagene Typisierung eingeordnet.

Nach Abgrenzung der Messungen werden die Zähler für ein volles Kalenderjahr ausgewertet, wobei einige Schulmensen mit Aufschaltung zur Lastganganalyse versehen werden (Februar 2012 im Aufbau).

In Anlehnung an die Gebäude-Energiekennzahlen des Deutschen Städtetages sollte eine gemeinsam getragene Statistik von Verbrauchszahlen für Mensen aufgebaut werden, um Benchmarking-Auswertungen für Verbrauchszahlen zu ermöglichen. Dabei sind ggf. weitere Typisierungen wie Kantine, Ganztagsküche oder Restaurant festzulegen.

Für gewerbliche Küchengeräte und Ausstattung wurde auf der durchgeführten Tagung eine Best-Practice-Liste angeregt

Die Ergebnisse und Erkenntnisse können in eine Bilanzierung „Mensa im Passivhaus“ einfließen und in Berechnungstools und Planungshilfen Berücksichtigung finden.

Da bei allen Effizienzmaßnahmen die Exposition des Küchenpersonals durch Abwärme und Hitzestrahlung abnimmt, gehen alle Effizienzmaßnahmen mit einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen einher. Damit können die Bedingungen nach den Arbeitsstättenrichtlinien noch besser eingehalten werden.

Der Arbeitsschutz, bisheriger Motor der Effizienz in Küchen, erhält unter dem Aspekt Energie und Energiekosten dann weitere Schubkraft.