



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

ENERGIEASPEKTE STÄDTISCHER QUARTIERE UND LÄNDLICHER SIEDLUNGEN

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Walter Ott, Michal Arend, Daniel Philippen, e concept AG
Lavaterstrasse 66, 8002 Zürich, info@econcept.ch, www.econcept.ch

**Kurt Gilgen, Katja Beaujean, Hochschule für Technik Rapperswil,
Institut für Raumentwicklung**
Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, kgilgen@hsr.ch, www.irap.ch

Stefan Schneider, Planungsbüro Jud AG
Bolleystrasse 29, 8006 Zürich, info@jud-ag.ch, www.jud-ag.ch

Begleitgruppe

Die Arbeiten wurden von einer Begleitgruppe fachlich begleitet.

Charles Filleux, BFE-REN

Mark Zimmermann, BFE-REN (bis 2007)

Andreas Eckmanns, BFE

Fritz Bosshart, ARE

Martin Lenzlinger

Den Mitgliedern sei an dieser Stelle vielmals gedankt!

Kofinanzierung

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kt. Zürich

Amt für Umwelt und Energie Kt. Basel-Stadt

Impressum

Datum: 17. Januar 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden

BFE-Projektnummer 101592

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die AutorInnen dieses Berichts verantwortlich.

Inhalt

Zusammenfassung	1
Résumé	9
Summary	17
1 Ausgangslage	25
2 Fragestellungen, Zielsetzungen, Vorgehen	27
2.1 Fragestellungen und Zielsetzungen	27
2.2 Vorgehen.....	28
3 Untersuchungsgegenstand	31
4 Die vier untersuchten Wohnquartiere	35
4.1 Methodik der Erhebung.....	35
4.2 Auswahl der Wohnquartiere für die Fallstudie	37
4.3 Charakterisierung der Wohnquartiere nach energierelevanten Aspekten	43
5 Wohnungsabhängiger Primärenergieverbrauch	47
5.1 Primärenergieverbrauch von Gebäuden	47
5.1.1 Untersuchungsgegenstand Gebäude	47
5.1.2 Energieverbrauch für Erstellung, Erneuerung und Abbruch der Gebäude	47
5.1.3 Energieverbrauch während der Nutzungsphase von Gebäuden	50
5.2 Primärenergieverbrauch der Infrastruktur	55
5.2.1 Untersuchungsgegenstand Infrastruktur.....	55
5.2.2 Energieverbrauch für die Erstellung und Entsorgung der Infrastrukturnetze	56
5.2.3 Endenergieverbrauch für den Betrieb der Infrastrukturnetze.....	59
5.3 Primärenergieverbrauch der wohnungsabhängigen Mobilität.....	60
5.3.1 Untersuchungsgegenstand wohnungsabhängige Mobilität	60

5.3.2	Energieverbrauch durch die Nutzung der Verkehrsmittel	61
5.3.3	Energieverbrauch von Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsmittel.....	67
6	Ergebnisse zum Energieverbrauch nach Siedlungstyp	69
6.1	Ergebnisse zum Primärenergieverbrauch von Gebäuden	69
6.2	Ergebnisse zum Primärenergieverbrauch der Infrastruktur	72
6.3	Ergebnisse Primärenergieverbrauch Mobilität (Fahrleistungen und Fahrzeugherstellung)	74
6.4	Synthese der Ergebnisse: Einflüsse verschiedener Strukturmerkmale auf den Primärenergieverbrauch von Siedlungen	77
7	Folgerungen	81
	Abkürzungsverzeichnis	87
	Literatur.....	88
	Anhang.....	91
A-1	Definitionen	91
A-2	Berechnungsgrundlagen Mobilität.....	92
A-3	Energieverbrauch des wohnungsabhängigen Verkehrs in verschiedenen Gemeindetypen	93
A-3.1	Problem- bzw. Fragestellung	93
A-3.2	Mikrozensus 'Verkehrsverhalten 2000' und der gewählte Lösungsansatz	94
A-3.3	Die verwendete Siedlungs- bzw. Gemeindetypologie	97
A-3.4	Ergebnisse und Erklärungen	101
A-4	Ergebnisse Quartiererhebungen der baulichen Strukturen der vier untersuchten Quartiere	114
A-4.1	Erhebungen in den Quartieren	114
A-4.2	Zusammenfassung der Resultate	118

Zusammenfassung

Fragestellungen und Zielsetzungen

Um weitere Grundlagen für eine nachhaltigkeitsorientierte Energiepolitik und Raumplanung zu erhalten, wird der gesamte Primärenergieverbrauch unterschiedlicher Wohnquartiere inklusive ihrer Erschliessungs-, Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen sowie der Primärenergieverbrauch der wohnungsinduzierten Mobilität (Fahrleistungen und Fahrzeugerstellung) untersucht. Die Einflüsse verschiedener Strukturmerkmale, durch welche sich die Wohnquartiere unterscheiden, werden anhand von vier unterschiedlichen Wohnquartieren im Kanton Zürich analysiert.

Dabei werden die folgenden Energieverbrauchsarten untersucht:

- Betriebsenergie: Primärenergieverbrauch der Wohnbauten in der Nutzungsphase, ihrer Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen und des siedlungsinduzierten Verkehrs.
- Graue Energie: Primärenergieverbrauch für die Erstellung, die Erneuerung und den Abbruch von Gebäuden und Quartierinfrastrukturen¹ sowie Primärenergieverbrauch für die Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge für den wohnungsinduzierten Verkehr (motorisierter Individualverkehr (MIV) und öffentlicher Verkehr (ÖV)).

Die betrachteten energierelevanten Bereiche gehen wie folgt in die Analyse des wohnspezifischen Primärenergieverbrauchs ein:

- Gebäude:
Erstellung, Betrieb, Erneuerung und Abbruch der untersuchten Gebäude (inklusive Bereitstellung und Entsorgung der Baustoffe und Materialien sowie inklusive Raumwärme- und Warmwasserproduktion sowie Stromverbrauch für Geräte und Beleuchtung).
- Versorgungsinfrastrukturen:
Gebäudegebundene Erschliessung sowie für die Quartierver- und -entsorgung benötigte Infrastrukturelemente der inneren Erschliessung (Quartiersstrassen sowie leitungsgebundene Ver- und Entsorgung).
- Wohnungsinduzierte Mobilität:
Etappen, die als Start oder Ziel die betrachtete Wohnung haben, sowie die Herstellung und Entsorgung der dafür verwendeten Verkehrsmittel.

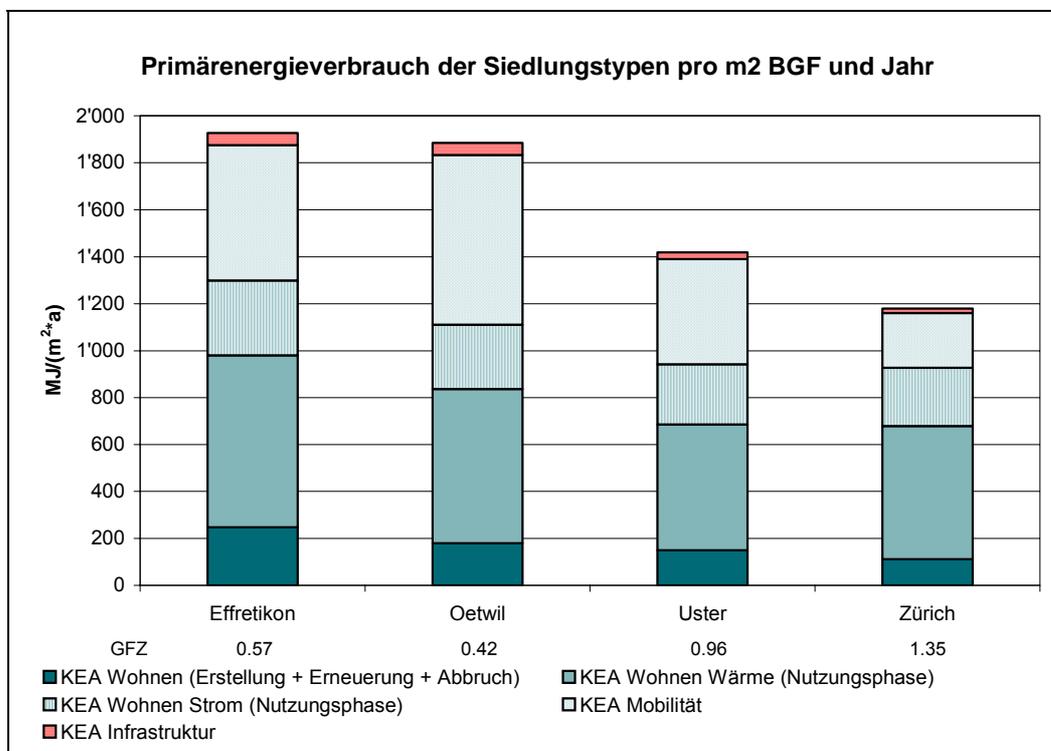
Untersuchte Wohnquartiere

Die Analyse basiert auf vier Fallstudien in weitgehend homogenen Wohnquartieren in Effretikon, Oetwil am See, Uster und der Stadt Zürich. Physische Überbauungs- und Infrastrukturdaten wurden im Rahmen von Begehungen sowie so-

weit verfügbar mit GIS-Auswertungen quartierweise erhoben. Die Quartiere unterscheiden sich stark hinsichtlich Zentralität und Dichte (die Geschossflächenziffern schwanken zwischen 0,42 in Oetwil und 1,35 im Stadtzürcher Quartier).

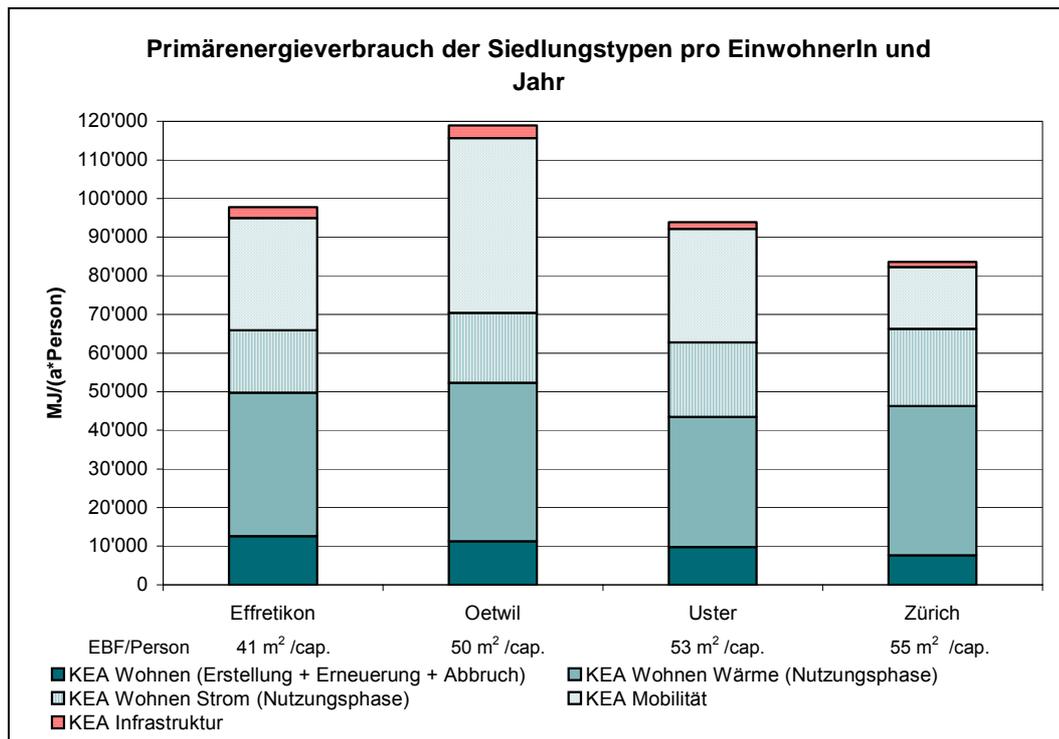
Primärenergieverbrauch pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche und pro EinwohnerIn und Jahr

Für das Untersuchungsjahr 2005 ergibt sich der in Figur 1 und in Figur 2 dargestellte Primärenergieverbrauch pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche und Jahr beziehungsweise pro EinwohnerIn und Jahr.



Figur 1: Gesamter Primärenergieverbrauch pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche (BGF) und Jahr in den vier Untersuchungsgebieten (2005). KEA: Kumulierter Energieaufwand, GFZ: Geschossflächenziffer (s. Fussnote 3).

Der Primärenergieverbrauch pro EinwohnerIn (Figur 2) ist in Oetwil am See am höchsten und nicht mehr in Effretikon wie beim Verbrauch pro m². Dies illustriert den Einfluss unterschiedlicher Belegungsdichten der Wohnungen in den beiden Quartieren.



Figur 2: Gesamter Primärenergieverbrauch pro EinwohnerIn und Jahr in den vier Untersuchungsgebieten (2005). KEA: Kumulierter Energieaufwand; EBF: Energiebezugsfläche

Folgerungen

Der Primärenergieverbrauch während der Nutzungsphase der Gebäude (Betriebsenergie) der Primärenergieverbrauch für die wohnungsinduzierte Mobilität sowie für Elektrizitätsanwendungen dominieren den gesamten Primärenergieverbrauch.

Beim siedlungsabhängigen Primärenergieverbrauch pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche dominieren der Einfluss der Gebäude während der Nutzungsphase und derjenige der wohnungsabhängigen Mobilität bei der zurzeit vorhandenen Bauweise und Siedlungsstruktur. Der Primärenergieverbrauch für die Erstellung, Erneuerung und den Abbruch der Gebäude fällt derzeit wenig, derjenige für die Erschließungs-, Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen kaum ins Gewicht.

Die Höhe des Primärenergieverbrauchs der Gebäude während der Nutzungsphase ist in erster Linie von der Wärmedämmung und somit indirekt vom Baujahr

der Gebäude sowie vom Jahr bzw. dem Standard ihrer energetischen Erneuerung sowie vom eingesetzten Energieträgermix abhängig.¹

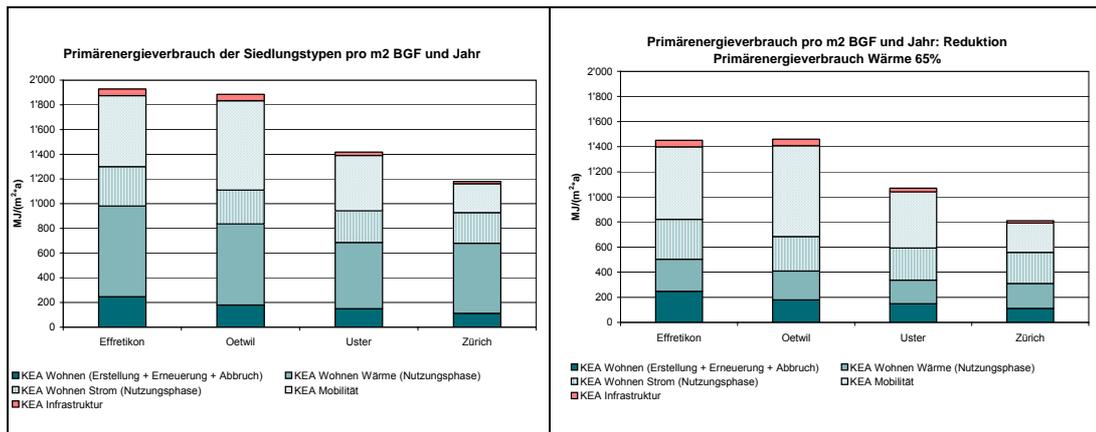
Der Primärenergieverbrauch für Elektrizität ist relevant – seine Bedeutung wird in Zukunft steigen

Der Elektrizitätsverbrauch für Geräte und Beleuchtung hat einen wesentlichen Einfluss auf den gesamten Primärenergieverbrauch der Gebäude während der Nutzungsphase (Anteil am Primärenergieverbrauch der Gebäude in der Nutzungsphase: 25 - 27%). Da damit zu rechnen ist, dass der Stromverbrauch in den Haushalten für Geräte und Beleuchtung weniger stark zurückgehen wird, kommt dem Haushaltsstromverbrauch bei weitergehenden künftigen Primärenergie-Reduktionsmassnahmen ein zentraler Stellenwert zu (wie auch der Mobilität, s. Figur 3).

Vorläufig ist der graue Energieverbrauch von Wohnbauten im Vergleich mit dem Energieverbrauch in der Nutzungsphase von untergeordneter Bedeutung – heute zählt primär der energetische Standard.

Wird angenommen, dass in Zukunft der Gebäudebestand energetisch massiv verbessert wird, dann geht der Primärenergieverbrauch für Wärme in der Nutzungsphase stark zurück und der Anteil des kumulierten Energieaufwandes (KEA) für die Gebäudeerstellung, den Unterhalt und den Abbruch gerät stärker ins Blickfeld weiterer Optimierungen (vgl. Figur 3). Es stellt sich die Frage nach der optimalen Strategie von Massnahmen, welche über den Minergie Standard hinausgehen. Der Fokus muss dabei vermehrt auf den Elektrizitätsverbrauch, den Einsatz erneuerbarer Energien und die Möglichkeiten zur Reduktion des kumulierten Energieaufwandes gerichtet werden.

¹ Dies ergibt sich aus der hier angewandten Methodik: Weil zum Betriebsenergieverbrauch in der Nutzungsphase keine Verbrauchsdaten pro untersuchtes Gebäude vorliegen, wurde der Verbrauch mithilfe des Baujahrs und dem dafür geltenden durchschnittlichen energetischen Standard sowie mithilfe des durchschnittlichen Energieträgermixes je Gemeinde geschätzt. Das hat den Vorteil, dass die Ergebnisse nicht durch Spezialeffekte bei einzelnen Gebäuden im Untersuchungsperimeter verzerrt werden.



Figur 3 Vergleich des gesamten Primärenergieverbrauches pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche und Jahr. **Linke Figur:** Heutige Situation in den Quartieren. **Rechte Figur:** Situation mit einem gegenüber heute um 65% reduzierten Primärenergieverbrauch für Wärme.

Auch bei der Mobilität zählt primär der Energieverbrauch in der Nutzungsphase – bei der wohnungsinduzierten Mobilität sind der Einfluss der Siedlungsstruktur, der Lage der Gemeinde und des ÖV-Angebotes zentral.

Je zentraler eine Siedlung liegt, desto kürzer werden tendenziell die Etappen der dort wohnenden Bevölkerung, desto höher wird der Anteil der Langsamverkehrsetappen, desto besser wird in der Regel das ÖV-Angebot und der ÖV-Modalsplit und desto weniger wird der MIV genutzt, was zu einer Senkung des Primärenergieverbrauchs der Wohnbevölkerung für Mobilität führt. Die Bedeutung des Siedlungs- oder Gemeindetyps für den Primärenergieverbrauch der wohnungsinduzierten Mobilität ist beeindruckend, die Unterschiede sind grösser als ein Faktor 4.

Die Analyse der Unterschiede der Verkehrsleistungen pro Person für die verschiedenen wohnungsinduzierten Verkehrszwecke zwischen den 13 Gemeindetypen des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) zeigt, dass die Unterschiede bezüglich der Anzahl Etappen am geringsten und diejenigen bezüglich der Durchschnittslänge der Etappen am grössten sind. Auch die Unterschiede im ÖV-Modal Split sind systematisch und relativ stark ausgeprägt. Der wesentlich höhere wohnungsabhängige Verkehrsenergieverbrauch in touristischen Gemeinden ist aber in erster Linie auf die grossen mittleren Fahrdistanzen - und zwar vorab im Pendler-, Einkaufs- und Freizeitverkehr - zurückzuführen.

Siedlungsdichte und Bauweise haben einen beträchtlichen Einfluss auf den kumulierten Energieaufwand. Beim hohen aktuellen Primärenergieverbrauch für Gebäudenutzung, Mobilität und Elektrizität sind sie vorläufig noch vergleichsweise wenig bedeutsam.

Der Primärenergieaufwand für Gebäudeerstellung, -erneuerung, -abbruch wie auch der der Primärenergieaufwand für die Erschliessungs-, Versorgungs- und Entsorgungsinfrastrukturen sind von der Überbauungsdichte und insbesondere bei den Gebäuden auch von der Bauweise abhängig. Die Bedeutung des kumulierten Energieaufwandes der Erschliessungs-, Versorgungs- und Entsorgungsinfrastrukturen ist angesichts des zurzeit noch hohen Verbrauchs für Wärme, Mobilität und Elektrizität relativ gering. Bei den für die 2000 Watt-Gesellschaft anvisierten Verbrauchsstandards wird die Bedeutung von Siedlungsdichte und Bauweise bei den Gebäuden und Quartierinfrastrukturen jedoch zunehmen.

Der Primärenergieverbrauch ist nicht nur von der Effizienz von Gebäuden und Infrastruktur abhängig: Die Wohnflächennachfrage pro Kopf und die Mobilitätsbedürfnisse spielen eine wichtige Rolle

Die Betrachtungen des siedlungsspezifischen Primärenergieverbrauchs pro Quadratmeter BGF und pro EinwohnerIn zeigen, dass ein hoher Verbrauch pro Quadratmeter durch eine hohe Belegungsdichte der Wohnungen (BGF pro BewohnerIn) relativiert werden kann.

Die Höhe des Primärenergieverbrauchs in den vier Untersuchungsgebieten korreliert in etwa mit ihrer jeweiligen Geschossflächenziffer (GFZ)². Es besteht jedoch kein direkter Zusammenhang zwischen GFZ und Primärenergieverbrauch, da der Primärenergieverbrauch in erster Linie durch die Mobilität (--> indirekter Zusammenhang über das ÖV-Angebot) und die Nutzungsphase der Gebäude bestimmt wird. Wie bereits erwähnt dominiert bei den Gebäuden der energetische Standard. Erst sekundär spielen Bebauungsart und Siedlungsdichte eine Rolle, die allerdings nicht zu vernachlässigen ist. Kompakte und dichte Bebauungen sind eine der Voraussetzungen für massive Energieverbrauchssenkungen. Bei der Mobilität spielen das ÖV-Angebot und die Attraktivität der Langsamverkehrswege eine wichtige Rolle. Dichte Bebauung erleichtert zudem die Bereitstellung eines guten ÖV-Angebotes und schafft damit die Voraussetzungen für einen hohen ÖV-Modalsplit.

² GFZ, Geschossflächenziffer: Die Geschossflächenziffer ist das Verhältnis von Bruttogeschossfläche zur Parzellenfläche und dient als Mass für die Dichte einer Überbauung.

**Hohe Relevanz von Gebäudeenergieeffizienz, Mobilität und Stromverbrauch
– der Einfluss der Siedlungsstruktur ist bei der Mobilität am grössten**

Die grossen Potenziale zur Reduktion des siedlungsabhängigen Primärenergieverbrauchs, liegen damit zurzeit im Bereich der Energieeffizienz bei Gebäuden, bei der wohnungsabhängigen Mobilität und beim Stromverbrauch. Insbesondere der Umfang des Primärenergieverbrauchs für die Mobilität ist von den Siedlungsstrukturen und von der Verkehrserschliessung abhängig und über die Raumplanung beeinflussbar.

Résumé

Problématique et objectifs

Afin de fournir d'autres informations de fond à l'appui d'une politique énergétique et d'aménagement territorial répondant aux critères du développement durable, on a relevé la consommation d'énergie primaire dans différents quartiers, y inclus les infrastructures de desserte, d'approvisionnement et d'élimination³, ainsi que la consommation d'énergie primaire de la mobilité induite par l'habitat (prestations-véhicules et fabrication de véhicules). Les influences des caractéristiques structurelles différenciant les quartiers les uns des autres ont été analysées sur la base de quatre quartiers d'habitation dans le canton de Zurich.

L'analyse porte sur les types de consommation d'énergie suivants :

- Énergie d'exploitation : consommation d'énergie primaire des habitations pendant la phase d'utilisation, de leurs infrastructures d'approvisionnement et d'élimination et du trafic induit par l'habitat.
- Énergie grise : consommation d'énergie primaire pour la construction, la rénovation et la démolition des bâtiments et infrastructures de quartier¹; consommation d'énergie primaire pour la fabrication et l'élimination des véhicules pour le trafic induit par l'habitat (trafic individuel motorisé TIM et transports publics TP).

L'analyse considère les domaines pertinents pour la consommation d'énergie primaire liée à l'habitat comme suit :

- Bâtiments :
Construction, exploitation, rénovation et démolition des bâtiments (y inclus la fourniture et l'élimination des matériaux de construction et autres matériaux, ainsi que la production de chaleur et d'eau chaude et la consommation de courant pour les appareils et l'éclairage).
- Infrastructures :
Exploitation des bâtiments ainsi que des éléments infrastructurels d'approvisionnement et d'élimination internes (routes de quartier, alimentation/évacuation par raccordement).
- Mobilité induite par l'habitat :
Étapes ayant comme point de départ ou point d'arrivée l'habitation considérée, ainsi que la construction et l'élimination des moyens de transport utilisés pour couvrir ces étapes.

³ Infrastructures de desserte, d'approvisionnement et d'élimination : routes de quartier, sentiers pour piétons pédestres, chemins de desserte, infrastructures d'alimentation par raccordement (électricité, gas, eau, chaleur à distance) et eaux usées.

Quartiers d'habitation étudiés

L'analyse se fonde sur quatre études de cas (4 quartiers d'habitation assez homogènes à Effretikon, Oetwil am See, Uster et la ville de Zurich). Des données physiques sur la construction et les infrastructures ont été relevées pour chaque quartier moyennant des visites in situ et des évaluations SIG (dans la mesure de leur disponibilité). Les quartiers sont très différents pour ce qui est de la centralité et de la densité (l'indice de surface de plancher fluctue entre 0,42 à Oetwil et 1,35 à Zurich).

Consommation d'énergie primaire par m² de surface brute de plancher et par habitant/année

Le Figur 1 et le Figur 2 visualisent la consommation d'énergie primaire par m² de surface brute de plancher, par année/habitant (état 2005).

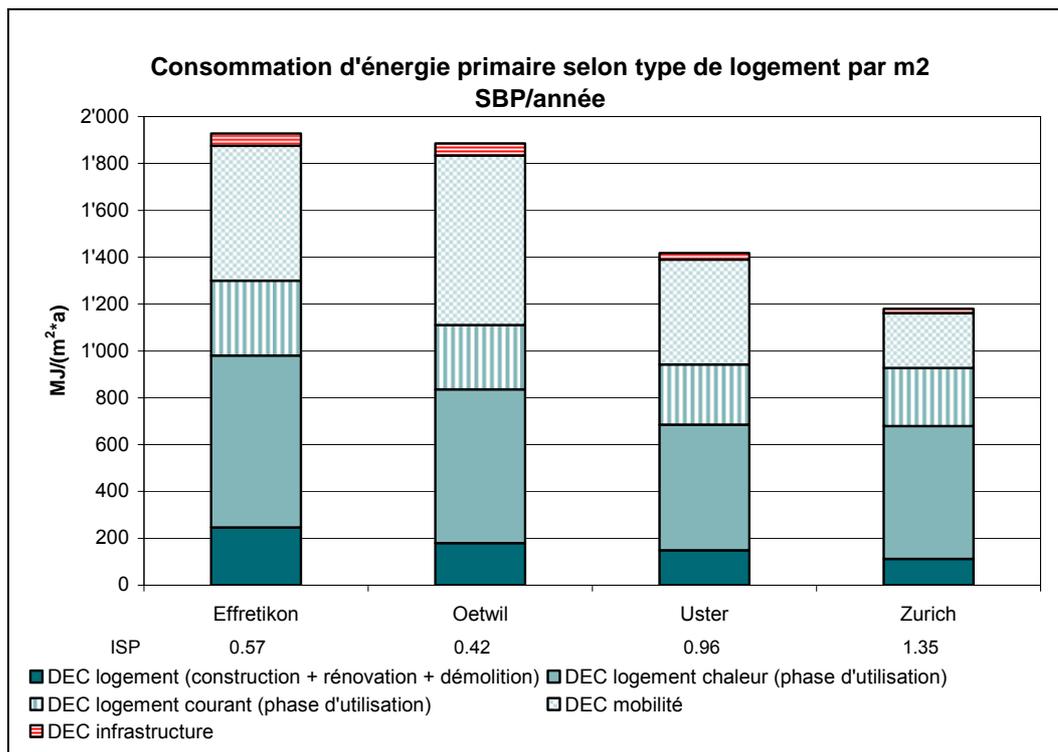


Diagramme 4: Total de la consommation d'énergie primaire par m² de surface brute de plancher (SBP) et par année dans les quatre quartiers étudiés (2005). DEC: dépense d'énergie cumulée ; ISP: indice de surface de plancher (cf. note de bas de page 3).

La consommation d'énergie primaire par habitant (Figur 2) est la plus élevée à Oetwil am See, et non plus, comme pour la consommation par m², à Effretikon. Un résultat qui démontre bien l'influence de la densité d'occupation des logements dans les deux quartiers.

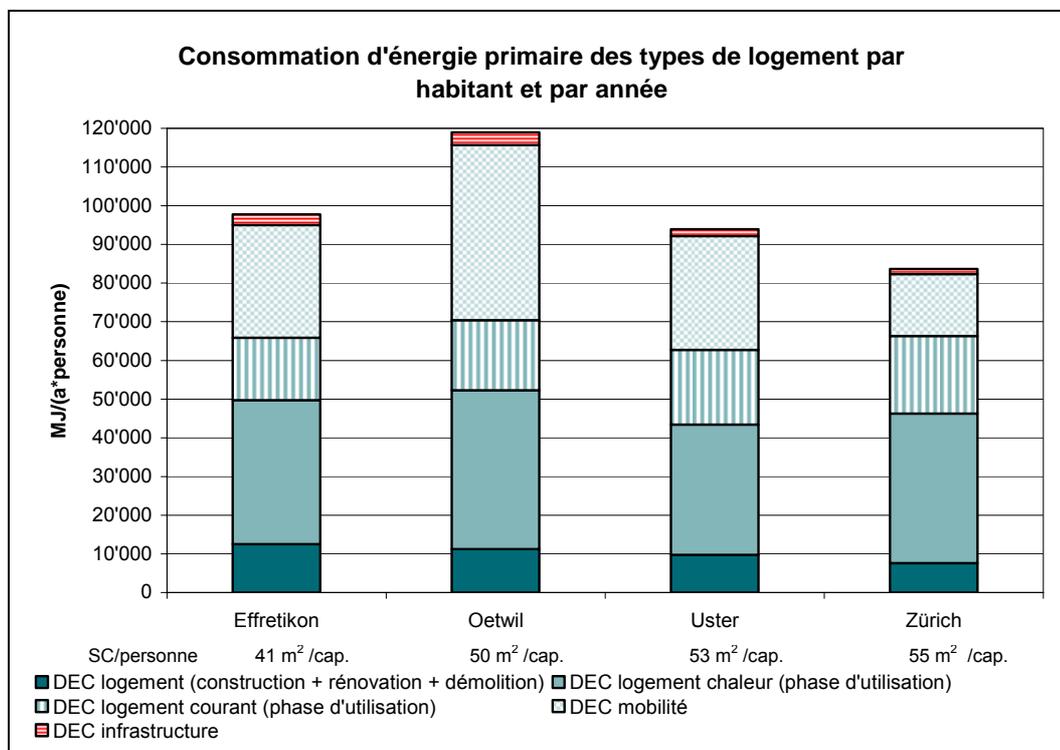


Diagramme 5: Total de la consommation d'énergie primaire par habitant et par année dans les quatre quartiers étudiés (2005). DEC: dépense d'énergie cumulée ;SC: Surface chauffée

Conclusions

La consommation d'énergie primaire pendant la phase d'utilisation des bâtiments (énergie d'exploitation), pour la mobilité induite par l'habitat et pour les applications électriques dominent le total de la consommation d'énergie primaire.

La consommation d'énergie primaire des quartiers d'habitation par m² SBP est dominée par les facteurs « bâtiments en phase d'utilisation » et « mobilité induite par l'habitat », compte tenu du mode de construction et de la structure urbaine. La consommation d'énergie primaire pour la construction, la rénovation et la démolition de bâtiments a peu de poids à l'heure actuelle, celle pour les infrastructures de desserte, d'approvisionnement et d'élimination n'en a guère.

L'ampleur de la consommation d'énergie primaire des bâtiments pendant la phase d'utilisation dépend en premier lieu de l'isolation thermique et donc, indirectement, de l'année de construction des bâtiments, ainsi que de l'année et du standard de leur renouvellement énergétique et du mix énergétique.⁴

La consommation d'énergie primaire pour l'électricité, déjà importante à l'heure actuelle, va encore augmenter à l'avenir.

La consommation de courant pour les appareils et l'éclairage a une influence essentielle sur le total de la consommation d'énergie primaire des bâtiments pendant la phase d'utilisation (part à la consommation d'énergie primaire des bâtiments en phase d'utilisation : 25 à 27%). Comme il faut s'attendre à un moindre recul de la consommation de courant des ménages pour les appareils et l'éclairage, les futures mesures visant à réduire la consommation d'énergie primaire devront se concentrer sur ce secteur-là (comme aussi sur la mobilité, cf. Figur 3).

Pour l'heure, la consommation d'énergie grise est accessoire par rapport à celle des bâtiments en phase d'utilisation. Aujourd'hui, c'est principalement le standard énergétique qui compte.

En admettant une amélioration massive des bâtiments en termes énergétiques à l'avenir, la consommation d'énergie primaire pour la chaleur pendant la phase d'utilisation reculera fortement. On pourrait alors se concentrer sur l'optimisation des dépenses d'énergie cumulées (DEC) pour la construction, l'entretien et la démolition de bâtiments pourraient (cf. Figur 3). Se pose la question de la stratégie optimale pour des mesures allant au-delà du standard Minergie. Il faudra se focaliser davantage sur la consommation d'électricité, l'utilisation d'énergies renouvelables et les possibilités de réduire la DEC.

⁴ C'est ce qui ressort de la méthode utilisée ici : en l'absence de données sur la consommation d'énergie pendant la phase d'utilisation pour tous les bâtiments examinés, cette consommation a été estimée sur la base de l'année de construction et du standard énergétique moyen d'alors, ainsi qu'à l'aide du mix énergétique moyen par commune. Cette estimation présente l'avantage que les résultats ne sont pas biaisés par les particularités de bâtiments individuels dans le périmètre étudié.

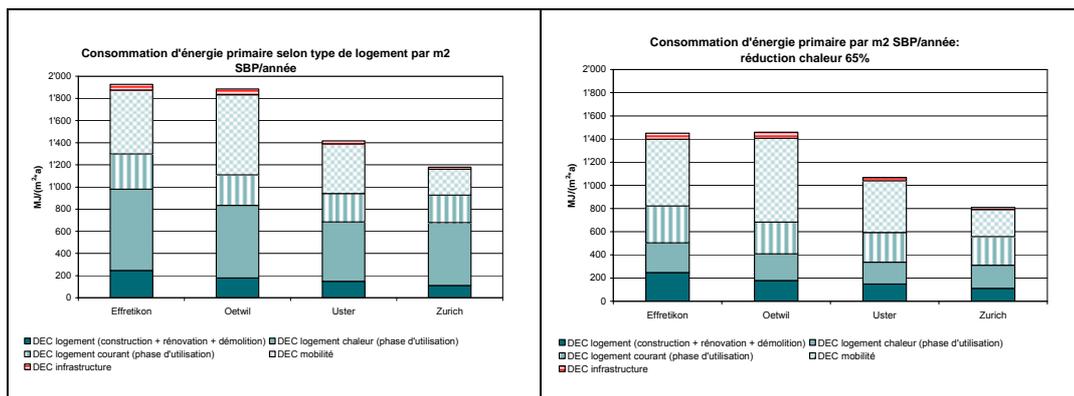


Diagramme 6: Comparaison de la consommation d'énergie primaire par m² SBP et année. **À gauche** : situation actuelle dans les quartiers ; **à droite** : situation avec une réduction de 65% de la consommation d'énergie primaire pour la chaleur.

Au chapitre de la mobilité également, c'est la consommation d'énergie pendant la phase d'exploitation qui prime. Pour la mobilité induite par l'habitat, les critères déterminants sont le type du quartier ou de la commune (ses caractéristiques structurelles), sa situation (centralité) et l'offre des TP.

Plus le quartier est central, plus les étapes de ses habitants sont tendanciellement plus courtes, et plus la part des étapes parcourues par mobilité douce est élevée. En outre, l'offre des TP et le split modal TP sont généralement mieux utilisés, avec une baisse proportionnelle du trafic individuel motorisé (TIM), ce qui se solde par une diminution de la consommation d'énergie primaire de la population pour la mobilité. L'importance du type de quartier pour la consommation d'énergie primaire liée à la mobilité induite par l'habitat est impressionnante ; les différences peuvent aller du simple au quadruple.

L'analyse des différences de prestations de transport par personne pour les différents objectifs de la mobilité induite par l'habitat dans les 13 types de communes définies par l'Office fédéral du développement territorial (ARE) montre que ces différences sont les plus faibles pour le nombre d'étapes et les plus grandes pour la longueur moyenne des étapes. Les différences en matière de split modal TP sont elles aussi systématiquement et relativement fortement marquées. La consommation d'énergie nettement plus élevée pour les transports liés à l'habitat dans les communes touristiques s'explique en premier lieu par des distances en moyenne plus longues, parcourues avant tout pour le travail (pendulaires), les achats et les loisirs.

La densité du tissu urbanisé et le mode de construction ont une influence notable sur les dépenses d'énergie cumulées. Vue la forte consommation d'énergie primaire actuelle pour l'exploitation des bâtiments, la mobilité et l'électricité, ces dépenses sont pour l'heure relativement peu importantes.

Les dépenses d'énergie primaire pour la construction, la rénovation et la démolition de bâtiments ainsi que pour les infrastructures de desserte, d'approvisionnement et d'élimination dépendent de la densité de logements et, pour les bâtiments, du mode de construction. Les dépenses d'énergie cumulées pour lesdites infrastructures sont relativement faibles par rapport à la consommation d'énergie, encore élevée aujourd'hui, pour la chaleur, la mobilité et le courant. Toutefois, avec le standard de consommation visé à terme (société à 2000 Watt), l'importance de la densité du tissu urbanisé et du mode de construction des bâtiments et des infrastructures de quartier va augmenter.

La consommation d'énergie primaire ne dépend pas seulement de l'efficacité énergétique des bâtiments et des infrastructures ; la demande de surface de logement par habitant et les besoins en matière de mobilité jouent un rôle important.

L'analyse de la consommation d'énergie primaire par m² SBP et par habitant dans les quartiers étudiés montre qu'une forte consommation par m² peut être relativisée par une plus forte densité d'occupation des logements (SBP/habitant).

L'ampleur de la consommation d'énergie primaire dans les quatre communes analysées est en corrélation avec leurs indices de surface de plancher respectifs (ISP)⁵. Il n'existe toutefois pas de lien direct entre l'ISP et la consommation d'énergie primaire, dès lors que celle-ci est déterminée en premier lieu par la mobilité (--> rapport indirect via l'offre de TP) et par les bâtiments en phase d'utilisation. Comme déjà mentionné, le standard énergétique est le principal facteur au niveau des bâtiments. Le mode de construction et la densité de l'habitat ne jouent qu'un rôle secondaire, quoique non négligeable. Un mode de construction compact et dense est une des conditions requises pour arriver à une réduction massive de la consommation d'énergie. Pour la mobilité, ce sont l'offre des TP et l'attractivité des voies de mobilité douce qui importent surtout. Une construction dense facilite en outre la mise à disposition d'une bonne offre de TP, ce qui favorise un split modal TP élevé.

⁵ ISP (indice de surface de plancher) : rapport entre la somme des surfaces de plancher et la surface de terrain imputable. L'ISP sert d'étalon pour la densité de logement d'un projet de construction.

Grande importance des facteurs efficacité énergétique des bâtiments, mobilité et consommation de courant – l'influence de la structure du quartier est la plus grande pour la mobilité

Les grands potentiels pour la réduction de la consommation d'énergie primaire dans les quartiers d'habitation résident actuellement dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments, la mobilité induite par l'habitat et la consommation de courant. L'ampleur de la consommation d'énergie primaire pour la mobilité dépend tout spécialement de la structure du quartier et de l'accès aux transports ; elle peut être influencée par l'aménagement du territoire.

Summary

Issues and objectives

The entire primary energy consumption of different residential districts including their development, supply and disposal infrastructures as well as the primary energy consumption of home-induced mobility (distances covered and vehicle production) is to be investigated to obtain further principles for energy policies and town and country planning based on sustainability. The influences of different structural features by which the residential districts differ are analysed using four different residential districts in the canton of Zurich.

The analysis looks into the following types of energy consumption:

- Operating energy: this is the consumption of primary energy by residential buildings in their period of use, their supply and disposal infrastructures and of the traffic induced by settlement.
- Grey energy: this is the primary energy consumption for the construction, renovation and demolition of buildings and district infrastructures⁶ as well as the consumption of primary energy for the production and disposal of vehicles for home-induced traffic (individual motor vehicle traffic and public transport).

The areas of relevance for energy have been integrated into the analysis of home-specific primary energy consumption as follows:

- Buildings:
Construction, operation, renovation and demolition of the buildings examined (including the provision and disposal of construction material and other materials as well as including the production of room heating and hot water as well as power consumed by equipment and lighting).
- Supply infrastructures:
Building-linked development as well as infrastructural elements of inner development (local streets as well as line and pipe supply and disposal) required for the supply and disposal of the district.
- Home-induced mobility:
Distances covered whose starting or finishing points are the home in question as well as the construction and disposal of the means of transport used for this purpose.

⁶ Development, supply and disposal infrastructures: local streets, footpaths, access routes, line and pipe supply infrastructures (electricity, gas, water, district heating, if provided) as well as waste water.

Residential districts investigated

The analysis is based on four case studies, which were conducted in largely homogenous residential districts in Effretikon, Oetwil am See, Uster and the city of Zurich. Physical constructional and infrastructure data was acquired within the framework of on-site inspections as well as with GIS evaluations by district where available. The districts differ greatly in terms of central location and density (the floor surface figures fluctuate between 0.42 in Oetwil and 1.35 in the district in Zurich city).

Primary energy consumption per square metre of gross floor area and per inhabitant and year

For 2005, which was the year of the investigation, this results in the primary energy consumption per square metre of gross floor area and year or per inhabitant and year shown in Fig. 7 and Fig. 8.

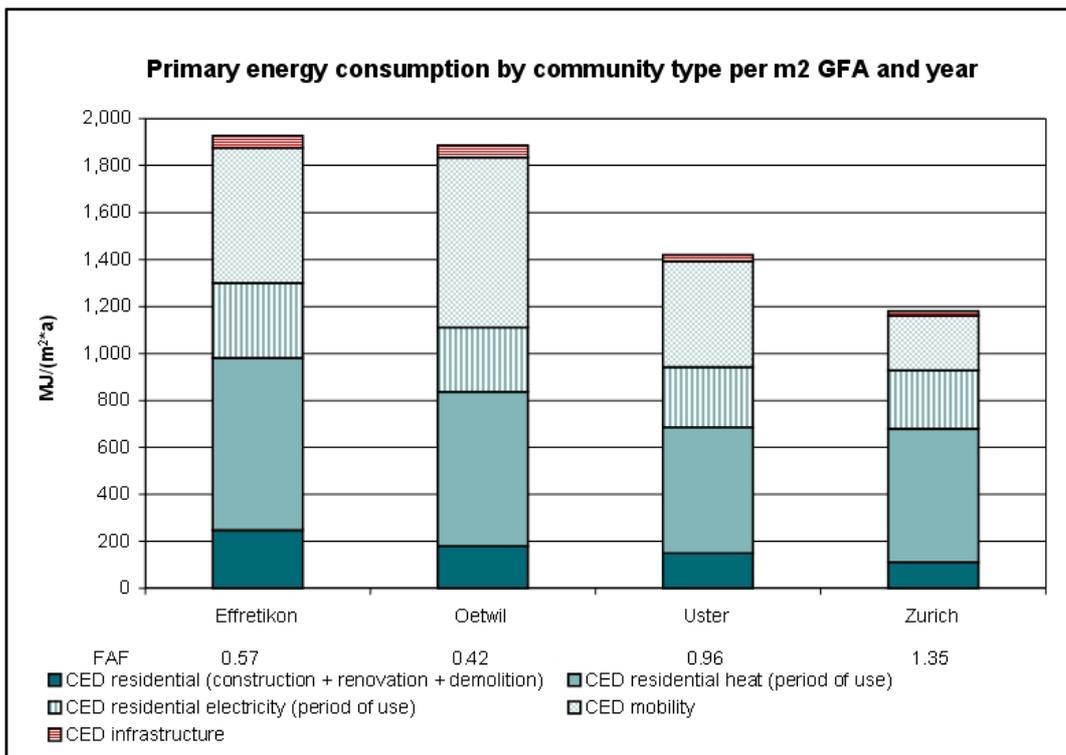


Fig. 7: Total primary energy consumption per square metre of gross floor area (GFA) and year in the four areas investigated (2005). CED: cumulated energy demand, FAF: floor area factor (q.v. footnote 8).

The consumption of primary energy per inhabitant (Fig. 8) is highest in Oetwil am See and no longer in Effretikon as with consumption per m². This illustrates the influence of the different occupancy densities of homes in the two districts.

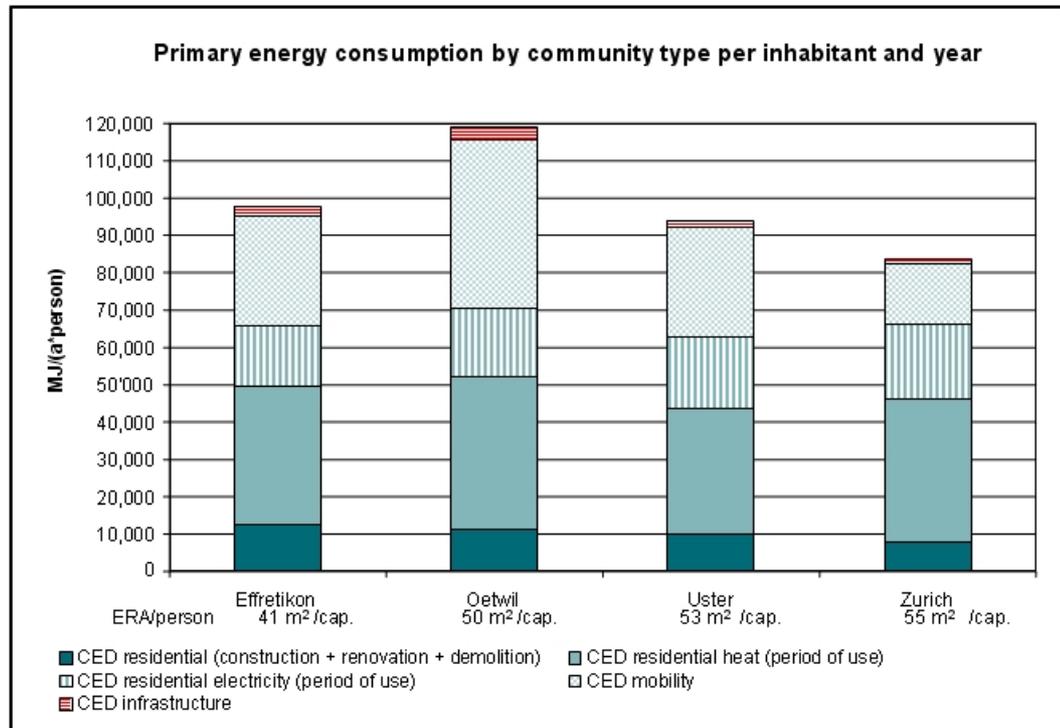


Fig. 8: Overall primary energy consumption per resident and year in the four areas investigated (2005).

Conclusions

The consumption of primary energy during the period of use of the buildings (operating energy) and the primary energy consumption for home-induced mobility as well as for electricity applications dominate the entire primary energy consumption.

In the case of the community-related consumption of primary energy per square metre of gross floor area, the influence of the buildings during the period of use and that of home-dependent mobility dominate given the current style of construction and housing structure. The primary consumption of energy for construction, renovation and demolition of the buildings is of little importance and that of the development, supply and disposal infrastructures of hardly any importance at all.

The amount of primary energy consumed in the buildings during the period of use is primarily dependent on heat insulation and thus indirectly on the year of con-

struction of the buildings as well as on the year or the standard of their energy-related renovation as well as on the source of energy used.⁷

The primary energy consumption of electricity is relevant – it will gain in importance in future.

The amount of electricity consumed by equipment and lighting has a substantial influence on the buildings' entire primary energy consumption in the period of use (share of primary energy consumption in the period of use: 25 - 27%). As the consumption of power for household equipment and lighting is not expected to decline to a substantial degree, the consumption of household power accompanied by future, further-reaching primary energy reduction measures becomes an issue of pivotal importance (as well as mobility, q.v. Fig. 9).

For the moment, the grey energy consumption of residential buildings is of subordinate importance compared with energy consumption in the period of use – today, it is primarily the standard relevant for energy that counts.

If we assume that, in future, the number of existing buildings is improved enormously in terms of energy, then the consumption of primary energy for heat will experience a major decline in the period of use and the proportion of the cumulated energy demand (CED) for building construction, maintenance and demolition will become subject to greater interest in terms of further optimization (cf. Fig. 9). The question arises as to the best-possible strategy of measures that go beyond the Minergie standard. Greater focus must be placed on electricity consumption, on the use of renewable energies and on possibilities of reducing cumulated energy demand.

⁷ This results from the methodology used here: because no data is available for the consumption of operating energy for each building investigated in the period of use, consumption was estimated on the basis of the year of construction and the applicable average standard relevant for energy as well as on the average mix of energy sources per municipality. The benefit is that results are not distorted by special effects in the case of individual buildings in the scope of the investigation.

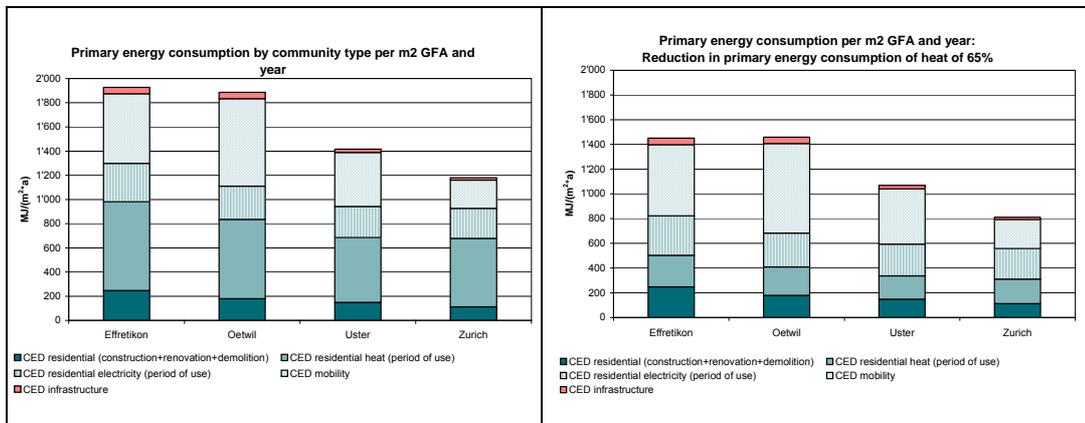


Fig. 9 Comparison of the total primary energy consumption per square metre of gross floor area and year.
Left-hand chart: Current situation in the districts.
Right-hand chart: Situation with a primary energy consumption for heat reduced by 65% compared with today.

Where mobility is concerned, too, energy consumption counts primarily in the period of use – in the case of home-induced mobility, the influence of the residential structure, the location of the municipality and the availability of public transport are of central importance.

The distances covered by people living in a housing development tend to be shorter when it is more centrally located. In addition, when the share of slow traffic distances is higher, both the public transport facilities as well as the public transport modal split are usually better and motorized individual traffic declines, which results in a reduction in primary energy consumption by the residential population for mobility. The importance of the type of settlement or community for the primary energy consumption that results from home-induced mobility is impressive, the differences being greater than a factor of 4.

The analysis of the differences in transport performance per person for the various home-induced transport purposes between the 13 types of municipalities of the Federal Office for Spatial Development (ARE) shows that the differences relating to the number of distances are lowest while those relating to the average length of the distances are largest. The differences in the public transport modal split are also systematic and fairly strongly pronounced. The substantially higher home-dependent traffic energy consumption in tourist communities is, however, primarily attributable to the large average travelling distances - mainly in commuter, shopping and leisure traffic.

Population density and style of construction have a substantial influence on cumulated energy demand. Given the current high primary energy consumption for building usage, mobility and electricity, they are still comparably unimportant for the present.

The amount of primary energy for building construction, renovation, demolition as well as the amount of primary energy for development, supply and disposal infrastructures are dependent on the density of construction and, particularly where the buildings are concerned, on the style of construction, too. The importance of cumulated energy demand of the development, supply and disposal infrastructure is fairly low in view of the currently fairly high level of consumption for heat, mobility and electricity. In the case of the consumption standard targeted for the 2000-watt society, the importance of population density and style of construction among buildings and district infrastructures will increase, however.

Primary energy consumption not only depends on the efficiency of buildings and infrastructures: individual demand for floor area as well as mobility requirements play an important role.

A look at the specific primary energy consumption per square metre of gross floor area and per inhabitant for each area show that a high consumption per square metre can be explained by the high occupancy density of the homes (gross floor area per resident).

The amount of primary energy consumption in the four areas investigated roughly correlates with their floor area factors (FAF)⁸. However, there is no direct connection between the FAF and primary energy consumption as the consumption of primary energy is largely determined by mobility (→ indirect connection via the public transport facilities available) and the period of use of the buildings. As previously mentioned, the energy-relevant standard dominated in the case of the buildings. The type of development and density of a settlement only play a secondary role and this must not be neglected. Dense, compact building developments are one of the prerequisites for enormous reductions in energy consumption. Where mobility is concerned, the public transport facilities available and the attractiveness of slow traffic routes play an important role. Dense building developments also facilitate the provision of a good public transport system and this creates the prerequisites for a high public transport modal split.

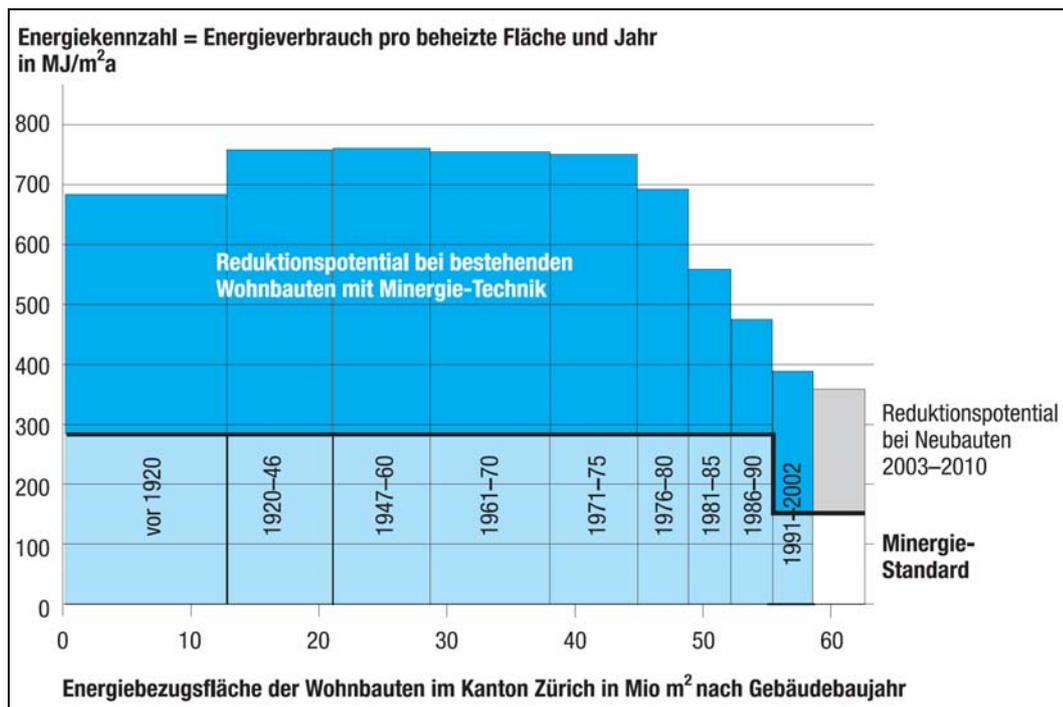
⁸ FAF, floor area factor: the floor area factor is the ratio between the gross floor area and the area of the plot and this serves as a measure of the density of a built-up area.

High relevance of building energy efficiency, mobility and electricity consumption – the influence of a settlement structure is greatest where mobility is concerned.

The great potentials for reducing the consumption of settlement-dependent primary energy thus currently lie in the field of energy efficiency of buildings, home-dependent mobility and power consumption. In particular, the extent of primary energy consumption for mobility depends on settlement structures and transport connections and can be influenced via the medium of regional planning.

1 Ausgangslage

Der betriebliche Energieverbrauch von Gebäuden ist für die verschiedenen Bau-perioden der Gebäude, für unterschiedliche Gebäudenutzungen sowie für Neubauten unterschiedliche energetischer Standards in etwa bekannt (siehe beispielsweise die Erhebungen des Kantons Zürich, AWEL 2003):



Figur 10: Endenergiekennzahl Wärme (Raumwärme und Warmwasser) in [MJ/m² a] für Wohnbauten im Kanton Zürich (AWEL 2003)

Zum grauen Energieverbrauch bzw. zum kumulierten Energieaufwand (KEA) von Gebäuden bestehen Grundlagen, auf denen aufgebaut werden kann⁹. Im Hin-

⁹ Am neuesten für die Schweiz: Matasci 2006 und 2007: 'Life Cycle Assessment of 21 buildings: analysis of the different life phases and highlighting of the main causes of their impact on the environment', wo der Primärenergieverbrauch für die Erstellung, Erneuerung und den Abbruch von Gebäuden pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche (BGF) für verschiedene Gebäudetypen untersucht wird. Entnommen werden die Werte zum kumulierten Energieaufwand für die Erstellung, Erneuerung während der Nutzungszeit und den Abbruch nach 60 Jahren Nutzungszeit; daneben: Preisig H.R., Pfäffli K., 'SIA Effizienzpfad Energie', SIA Dokumentation D 0216, Zürich 2006; Kasser U., Pöll M. 'Graue Energie von Baustoffen', Zürich 1995; Geiger B., Fleissner Th. "Stoffliche und energetische Lebenszyklusanalysen von Wohngebäuden", in VDI-Berichte 1328 "Ganzheitliche Bilanzierung von Energiesystemen", Düsseldorf 1997; Erb M., Fahner M., Lehmann G., Regenass A. "Nachhaltiger Wohnungsbau" FHBB/EMPA, Muttentz Sept. 1997; econcept/FHBB "Neu Bauen statt Sanieren", Zürich März 2002; SIA "SNARC - Systematik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Architekturprojekten für den Bereich Umwelt", Zürich 2004

blick auf eine nachhaltige Siedlungsentwicklung ist eine umfassendere Optik gefragt. Dabei interessiert, inwieweit die Quartier- und Siedlungsstruktur energie- und ressourcenrelevant sind. Zum Betriebs- und zum grauen Energieverbrauch der Einzelbauten kommt der Energie- und Ressourcenverbrauch der gesamten Infrastruktur, d.h. inkl. Verkehrsinfrastrukturen (s. Infrac 1995), Versorgung und Entsorgung mit den verschiedenen Medien, dem durch den Wohnstandort induzierten Verkehrsaufkommen und dem grauen Energieverbrauch für Fahrzeuge des Individualverkehrs (IV) und des öffentlichen Verkehrs (ÖV). Der bau- und erschliessungsbedingte Ressourcenverbrauch hängt entscheidend von der baulichen Dichte ab. Schiller (2004) zeigt, dass das erschliessungsbedingte Baustofflager unterhalb einer Geschossflächendichte (GFD) von etwa 0,7 stark zunimmt: von ca. 0,35 t pro m² Geschossfläche bei einer GFD von 1 auf ca. 1 t pro m² Geschossfläche bei einer GFD von 0,3. Dasselbe gilt aber auch für den grauen Energieverbrauch von Bauten. Dieser wird im Wesentlichen vom unterirdischen Gebäudevolumen, der Bauweise und den Fenstern (Rahmenmaterial und Anteil Fensterfläche) sowie von der Gebäudegrösse und der Gebäudeform (Aussenfläche/Volumen) bestimmt (SIA/KHE, SNARC 2004). Damit ist der graue Energieverbrauch ebenfalls von der zulässigen bzw. von der realisierten baulichen Dichte abhängig.

Die Analyse des gesamten wohnungsbedingten Primärenergieverbrauches soll auf der Basis des Lebenszyklusansatzes vorgenommen werden, mit Einbezug sämtlicher Ressourceneinsätze von der Material- und Infrastrukturerstellung, zu Betrieb, Unterhalt, Erneuerung während der Gebäudelebensdauer bis zu Abbruch/Gesamterneuerung.

Die Ergebnisse interessieren für die Ausrichtung und für Schwerpunktsetzungen, Perspektiven und Effizienzpfade in der Energie- und Klimapolitik sowie für die nachhaltige Siedlungs- und Verkehrsplanung und -politik und für die nachhaltige Siedlungserneuerung.

2 Fragestellungen, Zielsetzungen, Vorgehen

2.1 Fragestellungen und Zielsetzungen

In der vorliegenden Arbeit wird der Primärenergieverbrauch unterschiedlicher Wohnquartiere inklusive der zugehörigen Quartier-Erschliessungs- und -Entsorgungsinfrastrukturen und einschliesslich Primärenergieverbrauch der wohnungsinduzierten Mobilität untersucht. Die Einflüsse verschiedener Strukturmerkmale, durch welche sich die Wohnquartiere unterscheiden, werden ermittelt. Dadurch soll unter anderem auch aufgezeigt werden, mit welchen raumplanerischen Mitteln allenfalls auf den Energieverbrauch von Siedlungen Einfluss ausgeübt werden kann.

Im Rahmen der Arbeit wird eine Analysemethode entwickelt, um den gesamten Primärenergieverbrauch von unterschiedlichen Arten von Wohnquartieren inklusive der zugehörigen Infrastrukturen und der Mobilität zu vergleichen. Zu diesem Zweck wird der siedlungsspezifische Primärenergieverbrauch für Wohnen und wohnungsabhängige Mobilität von vier unterschiedlich gearteten Wohnquartieren in vier unterschiedlichen Gemeinden des Kantons Zürich bestimmt und miteinander verglichen. Dabei werden die folgenden Verbrauchselemente untersucht:

- Primärenergieverbrauch in den Gebäuden: Betriebsenergieverbrauch in der Nutzungsphase für Raumwärme und Warmwasser sowie Stromverbrauch für Geräte und Beleuchtung
- Grauer Energieverbrauch für die Erstellung, Erneuerung und Abbruch der Gebäude sowie für die Erstellung der Quartierinfrastrukturen (innere Erschliessung mit Verkehrswegen, Versorgung und Entsorgung mit leitungsgebundenen Energieträgern, Wasser, Abwasser)
- Primärenergieverbrauch für den Betrieb der quartierinternen Versorgungs- und Entsorgungsinfrastrukturen
- Primärenergieverbrauch für siedlungs- bzw. wohnungsinduzierte Verkehrsleistungen
- Primärenergieverbrauch für die Herstellung der Fahrzeuge für den wohnungsinduzierten Verkehr (IV und ÖV).

Von der Analyse werden Hinweise auf siedlungs- bzw. quartierspezifische Kennzahlen und Richtwerte zum Energieverbrauch pro EinwohnerIn und pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche (BGF) bzw. Energiebezugsfläche (EBF) für unterschiedliche Siedlungsstrukturen erwartet, welche für Planung und Projektierung

sowie für die Konzeption energetischer, verkehrsspezifischer und raumplanerischer Massnahmen verwendbar sind.

2.2 Vorgehen

Die Analyse des umfassenden Primärenergieverbrauches von Wohnsiedlungen basiert auf einem Fallstudienansatz. Für vier siedlungsstrukturell sehr verschiedene jeweils homogene Wohnquartiere im Kanton Zürich wird der Primärenergieverbrauch für Erstellung und Betrieb von quartierzugehörigen Wohnbauten und Infrastrukturen und der wohnungsinduzierten Mobilität im Untersuchungsperimeter ermittelt.

Für den Energieverbrauch von Wohnbauten werden die vorhandenen mittleren Verbrauchsdaten nach Bauperiode verwendet. Der graue Primärenergieverbrauch basiert auf ecoinvent Daten (Frischknecht et al. 2003), sowie auf den Daten aus dem Ökoinventar Verkehr (für die Fahrzeugherstellung und die Verkehrsinfrastrukturen, Infrac 1995).

Die Wohnbauten in den vier Untersuchungsperimetern, zugehörige Bauten unter der Oberfläche, gebäudegebundene Verkehrsflächen sowie die Bauweise (Leichtbau, Massivbauten) wurden durch die Hochschule Rapperswil mittels Begehung der Perimeter aufgenommen (Auswertungsbericht: Gilgen, Beaujean 2007). Zusätzlich wurden verfügbare GIS-Informationen zu den Untersuchungsperimetern ausgewertet.

Der graue Primärenergieverbrauch von Wohnbauten beruht auf der Untersuchung von Matasci (2006), welche für unterschiedliche Gebäudetypen mit Hilfe einer umfassenden Life Cycle Analyse den grauen Primärenergieverbrauch für die Gebäudeerstellung, den Unterhalt während einer angenommenen Lebensdauer von 60 Jahren und den Abbruch ermittelte. Dabei wird insbesondere zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern und Leichtbauten, Massivbauten sowie Bauten mit zusätzlichem Untergeschoss unterschieden.

Für die wohnungsinduzierte Mobilität wurde der Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten (MZ 2000) in der vom IVT der ETHZ qualitativ überprüften und modifizierten Version ausgewertet. Die Datenbasis des MZ 2000 genügt nicht, um gemeindespezifische Auswertungen zu machen. Daher wurden die Auswertungen der Etappenzahl und -länge pro Person und Jahr sowie der verwendeten Verkehrsmittel für die wohnungsgebundenen Verkehrszwecke für die 13 Gemeindetypen des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) vorgenommen (die 13 Gemeindetypen wurden vom ARE aufgrund verkehrsfunktionaler Kriterien

gebildet). Danach wurde jede Gemeinde der vier Untersuchungsperimeter einem der 13 ARE-Gemeindetypen zugeordnet, wonach angenommen wurde, dass die Einwohner in den vier Perimetern das durchschnittliche Verkehrsverhalten aufweisen, das für die EinwohnerInnen des zugehörigen ARE-Gemeindetyps aufgrund des MZ 2000 ermittelt wurde.

Kapitel 3 stellt kurz den Untersuchungsgegenstand dar.

In **Kapitel 4** werden die vier Quartiere und die in diesen Quartieren von der Hochschule Rapperswil vorgenommenen Erhebungen kurz beschrieben (siehe dazu auch Anhang A-4).

Kapitel 5 enthält die verwendete Methodik, die Vorgaben und Annahmen sowie Teilberechnungen und Auswertungen zur Ermittlung des Primärenergieverbrauchs bei Gebäuden, Infrastruktur und wohnungsinduzierter Mobilität.

In **Kapitel 6** werden die Ergebnisse der Analysen präsentiert und interpretiert.

Kapitel 7 enthält Kommentare und Folgerungen aus der Forschungsarbeit.

Die **Anhänge** enthalten teils detaillierte Kapitel zu Annahmen, Berechnungen und Erhebungen, insbesondere bei der Mobilität und den Quartiererhebungen.

3 Untersuchungsgegenstand

In der vorliegenden Untersuchung wird der Primärenergieverbrauch von vier unterschiedlichen Wohnquartieren ermittelt und einer vergleichenden Analyse zugänglich gemacht. Es werden hierfür diejenigen Energieaufwendungen berücksichtigt, die durch die Wohngebäude, ihre Erschliessungs-, Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen und den wohnungsgebundenen Verkehr entstehen. Die Bilanzgrenzen zur Ermittlung des Primärenergieverbrauchs basieren auf dem Life Cycle-Ansatz von Ökobilanzierungen. Die untersuchten Bereiche Gebäude, Infrastruktur (innere Erschliessung durch Strassen/Verkehrsflächen, Ver-/Entsorgungsleitungen) und Verkehr werden in allen Phasen des Lebenszyklus betrachtet - "von der Wiege bis zur Bahre".

Mit der Betrachtung des Primärenergieverbrauchs wird zusätzlich zur Endenergie der Energieverbrauch von vorgelagerten Prozessen in der Energiebereitstellung mitberücksichtigt¹⁰. Der hier betrachtete Primärenergieverbrauch umfasst sowohl den Verbrauch **nicht erneuerbarer Energien** (fossil und nuklear) als auch den Verbrauch **erneuerbarer Energien** (Biomasse, Wind- und Solarenergie, geothermische Energie, Wasserkraft). Der Primärenergieverbrauch wird im Folgenden auch als kumulierter Energieaufwand (KEA) bezeichnet.

Die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs soll möglichst umfassend sein und enthält die folgenden Arten des mit dem Wohnen verbundenen Primärenergieverbrauchs:

- **Betriebsenergie:** Primärenergieverbrauch für den Betrieb der Wohngebäude (Raumwärme, Warmwasser, sowie Strom für Geräte und Beleuchtung), der Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen sowie für wohnungsinduzierter Fahrleistungen.
- **Graue Energie:** Primärenergieverbrauch für die Herstellung, die Entsorgung und die Erneuerung der Wohngebäude, der zugehörigen quartierinternen Infrastrukturen und der dem Wohnen zurechenbaren Fahrzeuge.

Der jährliche Primärenergieverbrauch wird in Megajoule pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$) bzw. pro EinwohnerIn ($\text{MJ}/\text{Einw. a}$) in den untersuchten Wohngebieten bestimmt.

¹⁰ Der *Endenergieverbrauch* enthält nur die vom Verbraucher zum Beispiel in einem Gebäude oder in einem Fahrzeug eingesetzte Energie (Strom ab Steckdose, Benzin im Tank, etc.). Der *Primärenergieverbrauch* hingegen berücksichtigt auch den Energieverbrauch vorgelagerter Prozesse wie beispielsweise die Energieverluste in Raffinerien (z.B. zur Herstellung von Treibstoff) oder in Kraftwerken (z.B. Energieverluste auf den Schaufelrädern von Wasserkraftwerken)

Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit keine neuen Sachbilanzierungen durchgeführt werden, wird das verfügbare Datenmaterial zum kumulierten Energieverbrauch verwendet. Der nicht von Nutzung und Betrieb abhängige Ressourcenverbrauch und der Verbrauch grauer Energie werden auf die mittlere Lebensdauer der jeweiligen Infrastrukturelemente (Gebäude, Strassen, Fahrzeuge etc.) bezogen und in einen jährlichen Energiefluss während der Lebensdauer umgerechnet.

Die betrachteten energierelevanten Bereiche gehen wie folgt in die Analyse des wohnungsspezifischen Primärenergieverbrauchs ein:

Gebäude:

Erstellung, Betrieb, Erneuerung und Abbruch der untersuchten Gebäude. Für alle Lebensphasen werden auch die Bereitstellung und Entsorgung der Baustoffe und Materialien sowie die damit verbundenen Prozesse berücksichtigt. Bei der Betriebsphase wird der Primärenergiebedarf für Raumwärme, Warmwasser und Elektrizität für Haushaltsgeräte und Beleuchtung in die Analysen einbezogen.

Versorgungsinfrastrukturen:

Primärenergieverbrauch für die für die gebäudegebundene Erschliessung und Ver-/Entsorgung benötigten Infrastrukturelemente der inneren Erschliessung, d.h. für die Quartiersstrassen sowie für die leitungsgebundene Ver- und Entsorgung (Gas-, Strom-, Fernwärmenetze, Wasser- und Abwasserrohre).

Wohnungsinduzierte Mobilität:

Die wohnungsinduzierte Mobilität umfasst die Etappen, die als Start oder Ziel die betrachtete Wohnung haben (Pendler-, Ausbildungs-, Einkaufs-, Freizeit-, Begleitungs- und Serviceverkehr). Die Analyse umfasst den Primärenergieverbrauch für die Fahrleistungen im öffentlichen Verkehr und im motorisierten Individualverkehr sowie die Energieaufwendungen für die Herstellung, den Unterhalt und die Entsorgung der jeweiligen Verkehrsmittel. Die Zuordnung aller Etappen, die als **Quelle oder Ziel** die Wohnung haben, zur wohnungsinduzierten Mobilität basiert auf der Überlegung, dass mit der Wahl der Wohnung und damit des Wohnortes, die erforderlichen Etappen für die Erfüllung der Bedürfnisse der Bewohnenden bestimmt werden. Um die Energierelevanz der Wohnungs- und Wohnortswahl abzubilden sind daher alle Einkaufs-, Pendler-, Ausbildungs-, Freizeit- und Begleitungsetappen als von der Wohnung bzw. vom Wohnstandort abhängig zu betrachten (im SIA-Effizienzpfad Energie wird demgegenüber beispielsweise bei den Pendleretappen eine Etappe der Wohnung und eine dem Arbeitsplatz zugeordnet, was uns aber für die hier angestellten Betrachtungen als nicht adäquat erscheint).

Der durch den **Warenkonsum** der Wohnbevölkerung generierte Primärenergieverbrauch geht nicht in die Betrachtungen ein, da davon ausgegangen wird, dass dieser nur unwesentlich vom Siedlungstyp beeinflusst wird.

Dem Energieverbrauch von Gebäude, Infrastruktur und Mobilität werden heutige Verbrauchswerte zugrunde gelegt. Für die in den Analysen berücksichtigten Erneuerungen während der verschiedenen Phasen des Lebenszyklus werden keine Prognosen für den zukünftigen Energieverbrauch (inklusive Grauer Energie) einbezogen.

4 Die vier untersuchten Wohnquartiere

Die Untersuchung umfasst je ein **Wohnquartier** in der Stadt Zürich, in Uster, in Effretikon und in Oetwil am See. Die ausgewählten Wohnquartiere unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer baulichen Struktur und Dichte und hinsichtlich ihrer städtischen respektive ländlichen Lage.

Mit den vier Fallbeispielen wird ein breiter Bereich unterschiedlicher – aber für die Schweiz repräsentativer – Typen von Wohnquartieren abgedeckt. Die massgeblichen Kriterien, die zur Charakterisierung der Siedlungstypen verwendet werden, sind die Bebauungsdichte, die Bauweise, der Nutzungsmix, die Ausstattung und die lokale/regionale Lage.

4.1 Methodik der Erhebung

Die gebäudebezogenen Grundlagen für den Vergleich des Primärenergieverbrauchs der Wohnbauten in den vier Wohnquartieren wurden von Studierenden der HSR Rapperswil im Rahmen von Begehungen vor Ort erhoben und ausgewertet (Gilgen/Beaujean 2007). Soweit vorhanden, wurden zusätzlich zu den Erhebungen vor Ort die Daten der amtlichen Vermessung verwendet. Zum Teil wurden CAD-Auswertungen hinzugezogen. Die Nutzungsarten der Gebäude werden mittels Fotoanalysen abgeschätzt. (Details zu den Ergebnissen der Erhebungen siehe Anhang A4).

Parzellenweise Erhebung:

Die Parzellenflächen werden nach fünf Kategorien unterteilt:

- Grünfläche,¹¹
- versiegelte Flächen (Erschliessungsflächen),
- Verkehrsflächen,
- Parkplätze/Garagenvorplätze/Lagerflächen und
- Gebäudegrundflächen.

Bei der parzellenweisen Erhebung wurden Grünflächenanteil, versiegelte Flächen, Unterniveaubauten (UNB) und Verkehrsflächen erhoben, um Anhaltspunkte über die Art der vier Wohnquartiere zu erhalten und um die totalen Parzellen-

¹¹ Grünflächen: Unbebaute, bewachsene Flächen

flächen zu ermitteln.¹² Zudem wird die Nutzungsdichte pro Parzelle und anschliessend die gebaute Dichte, d.h. die Geschossflächenziffer, ermittelt.¹³ Da die Daten der amtlichen Vermessung für eine solche Flächenauswertung teilweise nicht verfügbar sind, werden CAD-Auswertungen hinzugezogen. Die Unterniveaubauten (UNB) werden aufgrund der amtlichen Vermessung festgestellt. Mittels CAD-Auswertungen der Quartierpläne werden die Flächen berechnet. Basierend auf den Gebäudegrundflächen und den Geschosszahlen werden durch Multiplikation die Geschossflächen ermittelt. Die bauliche Dichte wird aus dem Quotienten der berechneten Geschossflächen und der Grundstückflächen ermittelt.

Gebäudeweise Erhebung:

Die Erhebungen auf Gebäudeebene fokussieren insbesondere auf die Art der Nutzung sowie auf die baulichen und strukturellen Gebäudecharakteristiken (wie Leicht- oder Massivbau, Bau- und Erneuerungsjahr). Bei der Auswahl der Quartiere wurde darauf geachtet, dass es sich so weit wie möglich um reine Wohnquartiere handelt. Die Nutzungsanteile (Wohnen vs. Arbeiten) werden im Rahmen der Felderhebung abgeschätzt. Die Anteile der Fensterflächen bezogen auf die Fläche der Aussenhaut der einzelnen Gebäude werden mit Fotoanalysen ermittelt.

Quartierweise Erhebung:

Mit den quartierweisen Erhebungen werden Grundinformationen über das gebaute Infrastrukturnetz zusammengestellt. Das Strassennetz sowie die Infrastrukturnetze der Gas-, Elektrizitäts-, Fernwärme- und Wasserversorgung sowie die der Abwasserentsorgung werden erhoben und die Strassenflächen werden ermittelt. Übergeordnete Durchgangsstrassen, die durch die Quartiere verlaufen, werden in der Untersuchung nicht berücksichtigt, da nicht sinnvoll abgeschätzt werden kann, zu welchem Anteil diese Strassen dem Untersuchungsgebiet angerechnet werden soll.

Die Bevölkerungsdichte ergibt sich aufgrund der in der Volkszählung (2000) und der Betriebszählung (2001) ermittelten Bevölkerungs- und Arbeitsplatzzahlen und den gesamten Parzellenflächen. Aus den ermittelten Werten lassen sich Einwohneräquivalente (Q) errechnen.¹⁴ Der Quotient aus Geschossfläche (GF) und Ein-

¹² Totale Parzellenflächen: Parzellen sind die einzelnen Grundstücke im Kataster der Gemeinden. Je Parzelle gibt es (meist) ein Wohngebäude, Grünflächen und Erschliessungs- oder Verkehrsflächen. Die Parzellen berühren sich jeweils und decken zusammen das gesamte Untersuchungsgebiet ab, in dem sie liegen.

¹³ Die gebaute Dichte wird mit dem Verhältnis der Summe aller Nutzflächen zur Grundstücksfläche abgeschätzt, was der Definition der Geschossflächenziffer entspricht.

¹⁴ Einwohneräquivalent (Q) = Bevölkerungszahl (E) plus Arbeitsplatzzahl (A)

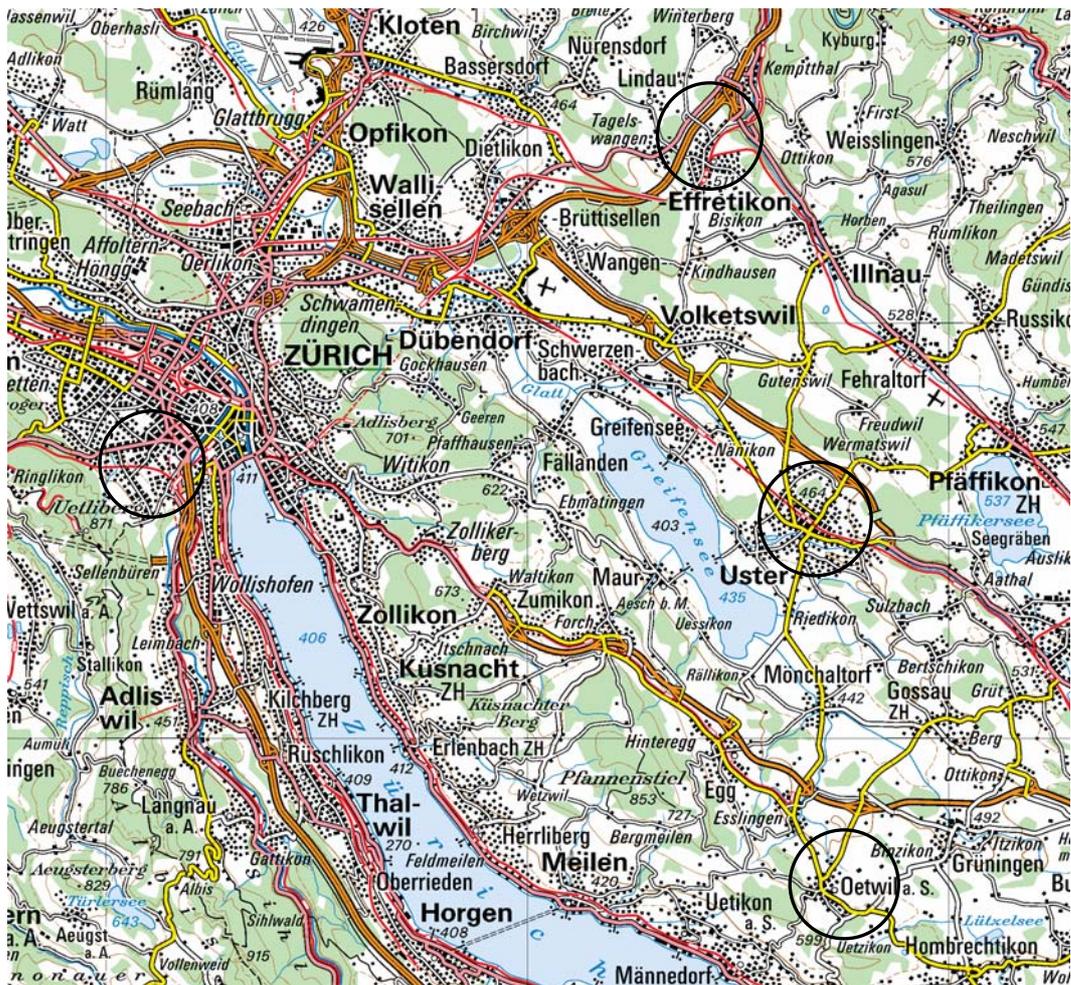
wohneräquivalent (Q) pro Quartier ergibt die Geschossflächenbeanspruchung pro Einwohner (-äquivalent) (GF/Q).

4.2 Auswahl der Wohnquartiere für die Fallstudie

Für die Ermittlung der baulichen Strukturen, der Gebäudenutzungen sowie der zugehörigen Infrastruktur werden die Gemeinden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- unterschiedliche Grösse,
- unterschiedliche Zentralität,
- unterschiedlicher Siedlungstyp,
- unterschiedliche Siedlungsdichte,
- eingeführte amtliche Vermessung,
- Verfügbarkeit der Leitungskataster,
- Bereitschaft der kommunalen Verwaltung zur Zusammenarbeit und
- ein genügend grosses und einigermaßen homogenes Wohnquartier.

Aufgrund dieser Kriterien wurden insgesamt vier Wohnquartiere in den Gemeinden Effretikon, Oetwil am See, Uster und Zürich ausgewählt welche im Folgenden stichwortartig beschrieben werden (für eine ausführlichere Beschreibung gemäss verwendeter Gemeindetypologie des ARE siehe auch Kapitel 5.3.2).



Quelle: swisstopo 2007

Figur 11 Die Lage der vier Untersuchungsgebiete im Kanton Zürich (Kreise in Figur) und die Verkehrswege in der Region (übergeordnetes Strassen- und Bahnnetz).

Die Untersuchungsgebiete in den vier Gemeinden sind in den Karten auf den Seiten 39 bis 42 farblich hervorgehoben. Bei den verschiedenen Infrastrukturelementen werden nur diejenigen berücksichtigt, die auf den farbigen Untersuchungsgebieten liegen.

Untersuchungsgebiet in Effretikon

- Gemeinde mit der Auszeichnung „Energistadt“ für rationelle Energienutzung auf dem Gemeindegebiet
- Untersuchtes Quartier: Einfamilienhausquartier mit verdichteter Bauweise
- Zentralität: Innerer Gürtel der Grosszentren-Agglomeration (Gemeindetyp ARE3), Geschossflächenziffer: 0,57



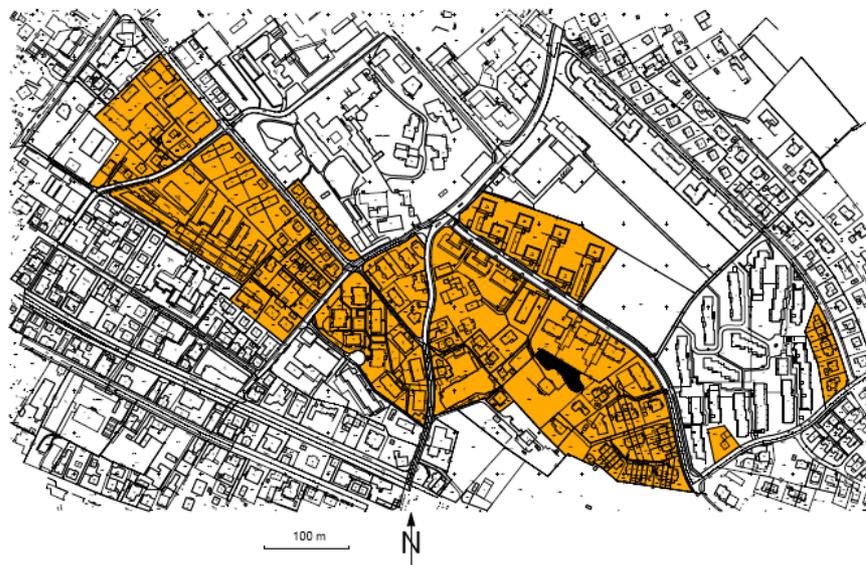
Untersuchungsgebiet in Oetwil am See

- Ländliche Gemeinde mit einer anhaltenden Entwicklung, welche bereits Mitte des letzten Jahrhunderts eingesetzt hat
- Untersuchtes Quartier: Einfamilienhausquartier, einige kleinere Mehrfamilienhäuser
- Zentralität: Nichtstädtische Wegpendlergemeinde (Gemeindetyp ARE9)
Geschossflächenziffer: 0,42



Untersuchungsgebiet in Uster

- Gemeinde mit der Auszeichnung „Energistadt“ für rationelle Energienutzung auf dem Gemeindegebiet
- Uster ist mit über 30'000 Bewohnern die drittgrösste Stadt im Kanton Zürich
- Uster ist sehr gut an die Verkehrsnetze angeschlossen und entwickelt sich rasch
- Untersuchtes Quartier: Gemischtes Wohnquartier mit Gesamtüberbauungen und Einzelgebäuden
- Zentralität: Nebenzentrum der Grosszentren (Gemeindetyp ARE2)
Geschossflächenziffer: 0,92



Untersuchungsgebiet in der Stadt Zürich

- Gemeinde mit der Auszeichnung „Energistadt Gold“ für rationelle Energienutzung auf dem Gemeindegebiet
- Untersuchtes Quartier: gemischtes städtisches Wohnquartier, dichte Gesamtüberbauungen, einzelne kleine Mehrfamilienhäuser
- Zentralität: Grosszentrum (Gemeindetyp ARE1)
Geschossflächenziffer: 1,35



4.3 Charakterisierung der Wohnquartiere nach energierelevanten Aspekten

Anhand der in den vier Untersuchungsgebieten in Effretikon, Oetwil am See, Uster und Zürich erhobenen Daten können die vier Siedlungstypen näher charakterisiert werden. Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht über die einzelnen Untersuchungsgebiete und geben verschiedene Grössen wieder, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch inklusive Grauer Energie dieser Wohnquartiere haben.

	Parzellenflächen total		Grünflächen		Erschliessungsflächen		Strassenflächen		Gebäudegrundflächen	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
Effretikon	30'828	100	21'974	71	605	2	7'950	25	6'374	21
Oetwil am See	180'261	100	96'230	53	15'388	9	31'974	18	27'766	15
Uster	126'269	100	65'043	52	5'425	4	17'578	14	27'458	22
Zürich	163'344	100	72'898	45	18'298	11	32'060	20	44'165	27

Tabelle 1: Verschiedene Flächenangaben zu den Untersuchungsgebieten in den vier Gemeinden.

Bei der Verteilung der verschiedenen Flächenarten in den Untersuchungsgebieten zeigen sich grössere Unterschiede (vgl. Tabelle 1), insbesondere bei den Flächenanteilen der Erschliessungsflächen und der Strassenflächen.

	Geschossflächen total mit UNB ¹⁵		Geschossflächen total ohne UNB		Geschossflächen inkl. UG m. Fenstern	Geschossflächen ohne UG	Geschossflächen UNB	Ø Gebäudehüllziffer ¹⁶
	m ²	GFZ ¹⁷	m ²	GFZ ¹⁷				
Effretikon	17'589	0,57	16'730	0,54	10'356	10'356	859	1,53
Oetwil a. S.	75'765	0,42	68'930	0,38	68'894	66'115	6'835	1,89
Uster	121'140	0,96	109'154	0,86	107'905	90'707	11'986	1,31
Zürich	220'533	1,35	201'569	1,23	199'357	171'622	18'964	1,37

Tabelle 2: Geschossflächen und Geschossflächenziffern¹⁷ in den Untersuchungsgebieten.

Die Geschossflächenziffern¹⁷ zeigen eine abnehmende bauliche Dichte in der Reihenfolge Zürich, Uster, Effretikon und Oetwil am See (vgl. Tabelle 2).

Die gleiche Rangfolge besteht auch bei den Einwohnerdichten (vgl. Tabelle 3). Der Vergleich der Geschossflächen pro Einwohneräquivalent und der Energiebezugsflächen pro Einwohner (Tabelle 3) zeigt kleine Werte bei Effretikon, was auf die verdichtete Bauweise in diesem Untersuchungsgebiet hinweist.

¹⁵ UNB: Unterniveaubauten

¹⁶ Die Gebäudehüllziffern hier geben den Durchschnitt der Gebäude im jeweiligen Untersuchungsgebiet an. Die Dachflächen der Gebäude wurden anhand der Gebäudegrundflächen und einer angenommenen Dachneigung von 35° abgeschätzt.

¹⁷ GFZ: Geschossflächenziffer. Die Geschossflächenziffer ist das Verhältnis aus gesamten Bruttogeschossflächen zu gesamten Parzellenflächen im Untersuchungsgebiet und dient als Mass für die Dichte einer Überbauung.

	Wohnungs- zahl (Feld- erhebung)	Einwohner 2000 (Volks- zählung)		Arbeitsplatz- zahl 2001 (BZ)		Einwohner- äquivalente Q (= E+A)		Parzellen- fläche/Einw.- Äquivalent	Geschoss- fläche/ Einw.-Äqui.	Energie- bezugs- fläche/ E
	W	E	Dichte E/ ha	A	Dichte A/ ha	Q	Q/W	m ² / Q	m ² / Q	m ² / E
Effretikon	76	330	107	17	5,5	347	4,6	89	51	41
Oetwil a. S.	442	1'050	58	93	5,2	1'143	2,6	158	66	50
Uster	655	1'450	115	90	7,1	1'540	2,4	82	79	53
Zürich	1'095	2'670	164	287	17,6	2'957	2,7	55	75	55

BZ: Betriebszählung

Tabelle 3: Strukturdaten zu den vier Untersuchungsgebieten.

Da nicht in allen Untersuchungsgebieten Kataster der Leitungsnetze vorliegen, konnten die effektiven Netzlängen der Leitungsinfrastrukturen nur im Untersuchungsgebiet der Stadt Zürich genau bestimmt werden. Die Netzlängen in den übrigen Untersuchungsgebieten wurden geschätzt.

Quartiergrösse und Anzahl der Wohnbevölkerung in den ausgewählten Untersuchungsgebieten der vier Gemeinden unterscheiden sich deutlich voneinander. Die Quartiergrösse sollte jedoch keinen Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch haben.

5 Wohnungsabhängiger Primärenergieverbrauch

Im Folgenden wird die Methodik beschrieben, die zur Ermittlung des wohnungsabhängigen Primärenergieverbrauchs für die drei untersuchten Bereiche Gebäude (Kapitel 5.1), Infrastruktur (Kapitel 5.2) und Mobilität (Kapitel 5.3) verwendet wird. In den Primärenergieverbrauch gehen sowohl die erneuerbaren als auch die nicht erneuerbaren Energieträger ein (näheres siehe Untersuchungsgegenstand: Kapitel 3).

5.1 Primärenergieverbrauch von Gebäuden

5.1.1 Untersuchungsgegenstand Gebäude

Für die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs von Gebäuden werden einerseits der Energieverbrauch für die Erstellung, die Erneuerung und den Abbruch der Gebäude und andererseits der Energieverbrauch während der Nutzungsphase für Heizung, Warmwasser, elektrische Geräte und Beleuchtung ermittelt.

Gebäude umfassen die ober- und unterirdischen Bauwerke inklusive Erschließungs- und Parkierungsinfrastrukturen auf dem Grundstück.

Bei Gebäuden, die sowohl zu Wohnzwecken als auch für Dienstleistungen oder gewerblich genutzt werden, wird der kumulierte Energieaufwand (KEA) entsprechend den Flächenanteilen der jeweiligen Nutzungsformen aufgeteilt. Die Nutzungsanteile wurden anlässlich der Erhebungen in den vier Untersuchungsgebieten für jede Parzelle abgeschätzt.

5.1.2 Energieverbrauch für Erstellung, Erneuerung und Abbruch der Gebäude

Vorgehen:

Der kumulierte Primärenergieaufwand für die Erstellung, die Erneuerung und den Abbruch verschiedener Gebäudetypen pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche wird hergeleitet. Nach der Multiplikation mit den in den Untersuchungsgebieten erhobenen Bruttogeschossflächen pro Gebäudetyp kann der durchschnittliche Primärenergieverbrauch pro Bruttogeschossfläche und pro EinwohnerIn ermittelt werden.

Energieverbrauchswerte für Erstellung, Erneuerung und Abbruch der Gebäude richten sich nach einer Arbeit, die am Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung der ETH Zürich durchgeführt wurde (Matasci 2006). Mit einer Ökobilanz wird dort der Primärenergieverbrauch von verschiedenen Gebäudetypen pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche (BGF) untersucht. Alle betrachteten Gebäude wurden in den 1990er Jahren erstellt. Verwendet werden Werte zum kumulierten Energieaufwand für die Erstellung, die Erneuerung während der Nutzungszeit und den Abbruch nach 60 Jahren Nutzungszeit. Diese Werte werden zusätzlichen Berechnungen von Matasci (2007) entnommen und beinhalten den gesamten KEA (nicht-erneuerbare *und* erneuerbare Energieträger)¹⁸. Die Berechnungen von Matasci zum KEA basieren auf den in Ecoinvent (v 1.2) verwendeten Primärenergiefaktoren. Aufgrund des kumulierten Energieaufwandes während der Nutzungszeit ergibt sich der mittlere jährliche Primärenergieverbrauch.

Matasci (2007) trifft in der Ökobilanzierung die folgenden Annahmen:

Erstellung Gebäude:

Bei der Erstellung der Gebäude werden die Gewinnung der Rohstoffe, die Transporte, die Herstellung der Baustoffe, der Transport zur Baustelle und die Bauleistungen berücksichtigt.

Erneuerung Gebäude:

Für den KEA der Erneuerung werden Baustoffe, die zur periodischen Instandhaltung eines Gebäudes verwendet werden (inklusive Transport und Entsorgung), einberechnet, wobei angenommen wird, dass die zu ersetzenden Elemente eines Gebäudes mit gleichartigen Elementen ersetzt werden (keine strukturellen Anpassungen an künftige Technologieentwicklung, etc.). Den unterschiedlichen Gebäudeelementen sind verschiedene Lebensdauern und Renovationsperioden zugrunde gelegt.

Abbruch Gebäude:

Beim Abbruch der Gebäude wird der Primärenergieverbrauch beim Transport der einzelnen Reststoffe und bei ihrer Entsorgung/Recyclierung verrechnet.

Nicht berücksichtigt werden bei Matasci (2007) der Baugrund, Materialverluste und Parkplätze (oberirdische Stellplätze), da davon ausgegangen wird, dass diese wenig Einfluss auf den KEA von Gebäuden haben.

Der KEA für Erstellung, Erneuerung und Abbruch der Parkplätze, Garagenvorplätze und Lagerflächen bei der Gebäudeerstellung wird aber in der vorliegenden Arbeit mitberücksichtigt, indem angenommen wird, dass der spezifische KEA/m² für Parkplätze, Garagenvorplätze und Lagerflächen sich auf die Hälfte des spezifischen KEA für Quartierstrassen beläuft (Tabelle 8).

Zuordnung der spezifischen KEA zu den Gebäuden:

Von den von Matasci (2007) untersuchten Gebäuden werden Werte der Einfami-

¹⁸ Wir danken C. Matasci für die Bereitstellung der Berechnungen zum gesamten KEA.

liehshäuser (EFH) und der Mehrfamilienhäuser (MFH) für die vorliegende Untersuchung verwendet. Unabhängig vom Gebäudealter wird jedem Gebäude aus den Untersuchungsgebieten ein KEA für Erstellung, Erneuerung und Abbruch gemäss seiner Gebäudedichte (Leicht- oder Massivbau) zugeordnet (Tabelle 4). In einem ersten Schritt wird jedes Gebäude in den Untersuchungsgebieten den von Matasci untersuchten Gebäudeklassen zugeordnet. Dabei wird zwischen den Klassen EFH und MFH unterschieden. Wohngebäude mit mehr als 2 Klingeln gehen als Mehrfamilienhäuser in die Berechnungen ein. In einem zweiten Schritt werden die Gebäude innerhalb der Klassen gemäss ihrer Gebäudedichte¹⁹ den in Matasci (2006) untersuchten Gebäuden zugeordnet. Hierbei wird zwischen Leicht- und Massivbauten und Massivbauten mit mehr als einem Untergeschoss gemäss unterschieden. Mit der Verwendung der Gebäudedichte als Unterscheidungskriterium der Gebäude wird in etwa der Grauen Energie der in den Gebäuden verwendeten Baumaterialien Rechnung getragen.

Bei Gebäuden, die teilweise gewerblich genutzt werden, wird prozentual nur diejenige Fläche angerechnet, die für die Funktion Wohnen genutzt wird.

1. Kriterium	2. Kriterium	Durchschnittlicher KEA (Erstellung, Erneuerung, Abbruch)	Für Berechnung des KEA verwendete Gebäude aus Matasci 2007
EFH	Leichtbau	259 MJ/m ² BGF a	SOH 3, SOH 6
	Massivbau	243 MJ/m ² BGF a	SOH 1, SOH 4
	Massivbau + zusätzliches Untergeschoss	246 MJ/m ² BGF a	SOH 2, SOH 5
MFH	Leichtbau	164 MJ/m ² BGF a	AH 1, AH 3
	Massiv	111 MJ/m ² BGF a	AH2, AH 4, AH 5
Parkplatz Garagen- vorplatz		23 MJ/m ² Nutzfläche ^a	-
Garage		138 MJ/m ² BGF a	-

Quelle: Berechnungen **e c o n c e p t** nach Matasci 2007 sowie für Parkplatz und Garagenvorplatz nach Frischknecht et al. 2007.

Tabelle 4: Kriterien für die Zuordnung der Gebäude zu den hier verwendeten Gebäudetypen von Matasci (2007), durchschnittlicher kumulierter Energieaufwand für die Erstellung, die Erneuerung und den Abbruch von Gebäuden nach Gebäudetyp und verwendete Modellgebäude.

¹⁹ Die Gebäudedichte ist der Quotient aus dem Gewicht der gesamten Baustoffe eines Gebäudes und den Quadratmetern BGF des Gebäudes.

Der Primärenergieverbrauch jedes Gebäudes wird anhand der BGF des Gebäudes und seinem KEA pro BGF für Erstellung, Erneuerung und Abbruch gemäss seinem Gebäudetyp bestimmt. Zur Bestimmung des durchschnittlichen Primärenergieverbrauchs je Untersuchungsgebiet werden die Summen der KEA der Wohngebäude durch die gesamte BGF der Wohngebäude im jeweiligen Untersuchungsgebiet dividiert.

Durch die Berücksichtigung sowohl nicht-erneuerbarer als auch erneuerbarer Primärenergie ergeben sich bei Matasci (2007) hohe Werte bei den Leichtbauten, was auf die umfassende Verwendung von Bauholz (inklusive Ersatz von Holzfasaden bei der Erneuerung) und den grossen Primärenergieverbrauch bei dessen Gewinnung zurückzuführen ist.

5.1.3 Energieverbrauch während der Nutzungsphase von Gebäuden

Für die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs während der Nutzungsphase eines Gebäudes werden nur solche Verbrauchsarten berücksichtigt, von denen ausgegangen wird, dass sie abhängig vom Quartiertyp oder von der Wohnfläche pro Person sind. Nicht berücksichtigt werden die Einrichtung der Gebäude (Möbiliar), Konsumgüter und die Abfallentsorgung. Der unabhängig von Raumwärme oder Warmwasser anfallende Elektrizitätsverbrauch in Wohngebäuden (elektrische Geräte und Beleuchtung) wird in die Berechnungen einbezogen.

Primärenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser

Vorgehen:

Der Primärenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser wird ermittelt, indem je nach Bauperiode der Gebäude unterschiedliche, durchschnittliche Energiekennzahlen²⁰ (EKZ) verwendet werden, die mit der Energiebezugsfläche der jeweiligen Gebäude multipliziert werden. Ausgehend vom spezifischen Endenergieverbrauch wird dabei unter Berücksichtigung des jeweiligen Energieträgermix in den vier Gemeinden der Primärenergieverbrauch pro m² BGF bzw. pro Untersuchungsgebiet bestimmt.

Systematische und vom Benutzerverhalten unabhängige Unterschiede im Betriebsenergieverbrauch von Gebäuden pro Quadratmeter BGF ergeben sich in

²⁰ Energiekennzahl = Endenergieverbrauch für Warmwasser und Heizung (bspw. in MJ/m²a)

erster Linie durch die Güte der Wärmedämmung eines Gebäudes. Gemäss Matusci (2006) und AWEL²¹, ist die Nutzungsart eines Gebäudes (EFH, MFH) für den Betriebsenergieverbrauch pro Quadratmeter BGF nicht entscheidend.

Da die Wärmedämmung nicht für jedes Gebäude in den Untersuchungsgebieten einzeln erfasst werden konnte,²² werden zur Ermittlung des Betriebsenergieverbrauchs der Gebäude Energiekennzahlen für verschiedene Bauperioden verwendet. Die Güte der Wärmedämmung hängt daher stark vom Bau- respektive vom Sanierungsjahr und den zu dieser Zeit üblichen Dämmstandards ab.

Da sich die Energiekennzahlen normalerweise auf die Energiebezugsfläche (EBF) eines Gebäudes beziehen, werden die parzellenweise erhobenen Bruttogeschossflächen in den Untersuchungsgebieten in Energiebezugsflächen umgerechnet. Dabei wird ein für alle Gebäudetypen einheitlicher Umrechnungsfaktor von 0,8 verwendet (gemäss Energie 2000, 1996).

Baujahr	EKZ bei normal gedämmten Gebäuden	EKZ bei Minergie-Gebäuden
vor 1976	755 MJ/m ² EBF a	288 MJ/m ² EBF a
1976 - 1980	692 MJ/m ² EBF a	288 MJ/m ² EBF a
1981 - 1985	560 MJ/m ² EBF a	288 MJ/m ² EBF a
1986 - 1990	476 MJ/m ² EBF a	288 MJ/m ² EBF a
ab 1991	388 MJ/m ² EBF a	151 MJ/m ² EBF a

Quellen: **e c o n c e p t** nach AWEL 2003; Minergie 2007

Tabelle 5: Für die Nutzungsphase verwendete durchschnittliche Energiekennzahlen (Endenergie für Raumwärme und Warmwasser) pro m² Energiebezugsfläche für normal gedämmte Gebäude und für Minergie-Gebäude (jeweils gleich für EFH, MFH und DL-Gebäude).

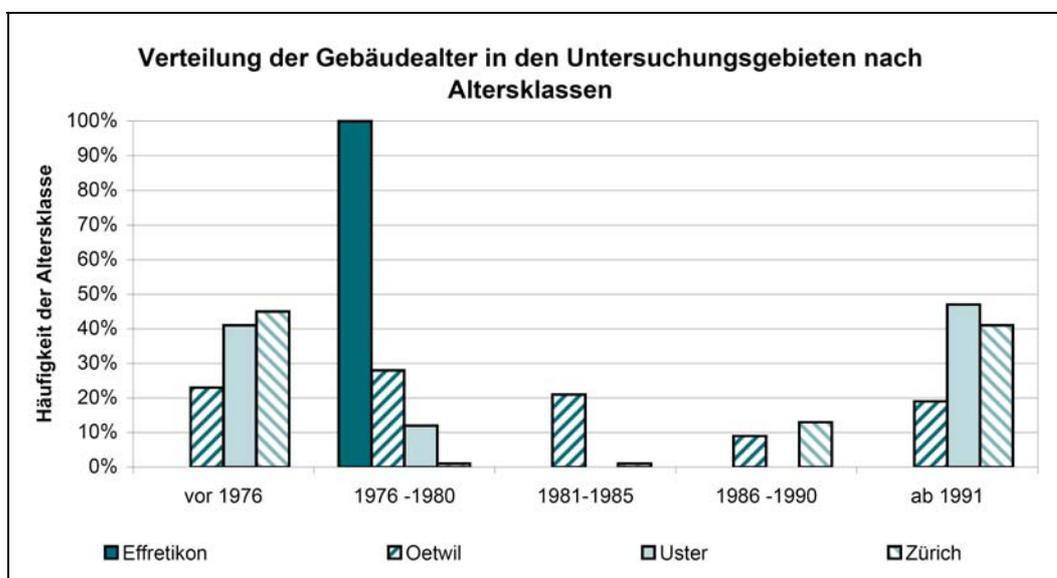
Energiekennzahlen für Überbauungen unterschiedlichen Baualters werden dem Energieplanungsbericht 2002 des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL 2003) entnommen, welcher die empirisch ermittelten EKZ von Wohngebäuden im Kanton Zürich dokumentiert (vgl. Figur 10, Seite 25 und

²¹ Mündliche Auskunft AWEL

²² Eine Ausnahme bildet eine Minergie-Überbauung in Uster, die als solche bekannt war und berücksichtigt wird.

Tabelle 5). Für Gebäude, die vor 1976 gebaut wurden, wird von einer einheitlichen mittleren EKZ ausgegangen. Für die EKZ von Minergie-Gebäuden werden die Zielwerte des Labels Minergie übernommen (Minergie 2007).

Wenn Gebäude energetisch saniert werden, verringert sich ihr Betriebsenergieverbrauch. Dies wird berücksichtigt, indem angenommen wird, dass nach einer Erneuerung der Energieverbrauch während der noch verbleibenden Nutzungsphase demjenigen von Neubauten entspricht, welche im Jahr der Sanierung erstellt wurden. Ob und wann Gebäude saniert wurden, wurde in den Quartiererhebungen erfasst. Figur 12 zeigt die Verteilung der Gebäudealter in den Untersuchungsgebieten.

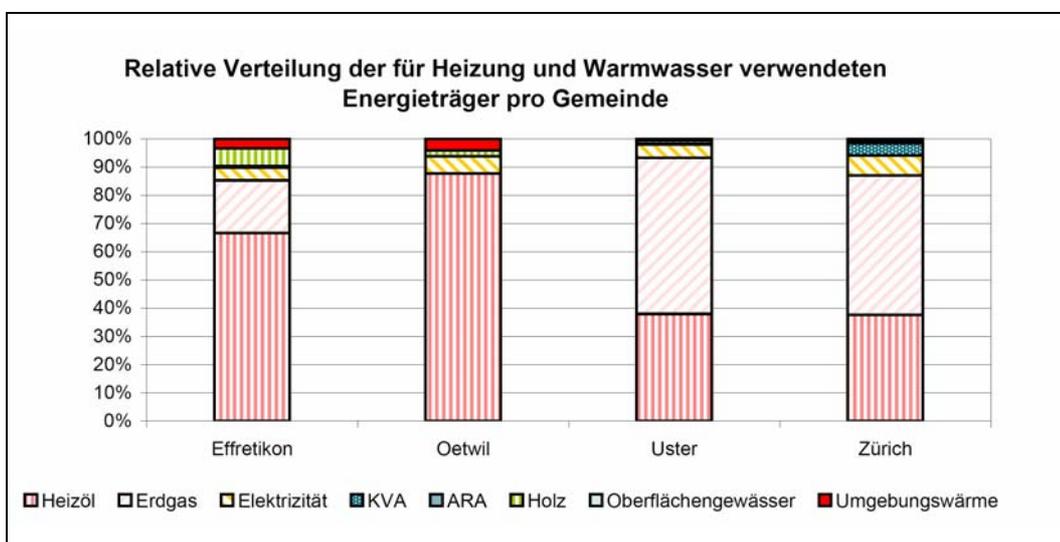


Figur 12: Verteilung der Gebäudealter in den Untersuchungsgebieten nach den für die Zuordnung der Energiekennzahlen verwendeten Altersklassen (pro Gemeinde 100%; Erneuerungen werden als Neubauten behandelt).

Für die Umrechnung der Endenergiekennzahlen in den Primärenergieverbrauch werden energieträgerspezifische Umrechnungsfaktoren und der Mix der in der jeweiligen Gemeinde verwendeten Energieträger für Heizung und Warmwasser verwendet.

Da für die Untersuchungsgebiete keine Daten zu den Energieträgern erhältlich sind, die in den einzelnen Gebäuden für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser verwendet werden, wird für die Umrechnung in den Primärenergie-

verbrauch auf Gemeindedaten zurückgegriffen, die vom AWEL veröffentlicht werden. Das AWEL erhebt im Kanton Zürich je Gemeinde die Wärmeerzeugung im Gebäudebereich pro Energieträger und stellt sie in Gemeindedatenblättern zur Verfügung (AWEL 2007). Folglich werden nicht die in den erfassten Bauten der untersuchten Quartiere effektiv eingesetzten Energieträger für Raumwärme und Warmwasser berücksichtigt, sondern die in den vier Gemeinden durchschnittlich eingesetzten Energieträger. Die relative Verteilung der eingesetzten Energieträger für die Gemeinden Uster, Zürich, Oetwil am See und Effretikon wird in Figur 13 wiedergegeben. Solarthermisch erzeugte Wärme wird nicht dargestellt, da sie aufgrund der geringen Verbreitung von Sonnenkollektoren vernachlässigbar ist.



Quelle: Daten aus AWEL 2007

Figur 13: Die relativen Verteilungen nach Endenergieverbrauch der in den Gemeinden verwendeten Energieträger für Warmwasser und Raumwärme gemäss Gemeindedatenblätter des Kt. ZH (AWEL 2007).

Die Umrechnungsfaktoren von End- zu Primärenergie für die einzelnen betrachteten Energieträger werden in Tabelle 6 wiedergegeben. Dem Faktor für die Elektrizität ist der Schweizer Versorgungsmix ab Niederspannungsnetz inklusive Importe zugrunde gelegt.

Für die untersuchten Gemeinden ergeben sich die in Tabelle 7 aufgeführten Faktoren für die Umrechnung des Endenergieverbrauchs in den Primärenergieverbrauch für die Raumwärme und Warmwassererzeugung in Wohngebäuden unter Berücksichtigung der jeweiligen Anteile der eingesetzten Energieträger am betrachteten Energieverbrauch in den Gemeinden.

Energieträger/-quelle	Umrechnungsfaktoren End- zu Primärenergie
Fernwärme (KVA, ARA)	0,03 MJ _{Primär} /MJ _{End}
Holz	1,32 MJ _{Primär} /MJ _{End}
Oberflächengewässer	0,83 MJ _{Primär} /MJ _{End}
Umgebungswärme	0,97 MJ _{Primär} /MJ _{End}
Strom (Niederspannung)	2,90 MJ _{Primär} /MJ _{End}
Erdgas	1,21 MJ _{Primär} /MJ _{End}
Heizöl	1,29 MJ _{Primär} /MJ _{End}

Quelle: Berechnungen nach Frischknecht et al. 1996

Tabelle 6: Verwendete Faktoren für die Umrechnung des Endenergieverbrauchs in den Primärenergieverbrauch pro Energieträger (erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger für die Bereitstellung der Energieträger berücksichtigt).

Gemeinde	Umrechnungsfaktor End- zu Primärenergie (mit kommunalem Energieträgermix gewichtet)
Effretikon	1,31
Oetwil am See	1,37
Uster	1,31
Zürich	1,30

Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren End- zu Primärenergie für die Raumwärme und Warmwassererzeugung pro Gemeinde unter Berücksichtigung des im jeweiligen Gemeindedurchschnitt zum Einsatz kommenden Energieträgermix (erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger berücksichtigt).

Primärenergieverbrauch von Elektrizität für Haushaltsgeräte und Beleuchtung

Vorgehen:

Zur Abschätzung des Elektrizitätsverbrauchs in den Untersuchungsgebieten werden gesamtschweizerische Verbrauchswerte für den Elektrizitätsverbrauch in den Haushalten auf Werte pro Person und pro Quadratmeter umgerechnet, wobei die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in den Untersuchungsgebieten berücksichtigt wird.

Der Elektrizitätsverbrauch in den Gebäuden der vier Untersuchungsgebiete wurde nicht erhoben. Aus diesem Grund werden schweizerische Werte zum Elektrizitätsverbrauch (ohne Raumwärme und Warmwasser) in den Haushalten ver-

wendet und diese auf Verbrauchswerte pro Person und pro Quadratmeter EBF umgerechnet. Hierbei wird die Hälfte des Stromverbrauchs in den Haushalten gleichmässig der Wohnbevölkerung angerechnet und die andere Hälfte des Stromverbrauchs gleichmässig auf die Quadratmeter Energiebezugsfläche verteilt. Anschliessend werden für die Untersuchungsgebiete Verbrauchswerte pro Quadratmeter BGF und pro Person ermittelt.

Werte zum gesamtschweizerischen Elektrizitätsverbrauch der Haushalte und zur totalen Energiebezugsfläche in den Haushalten werden den Energieperspektiven der Haushalte entnommen (BFE 2007a). Der Elektrizitätsverbrauch im Jahr 2005 für Haushaltsgeräte und Beleuchtung (ohne Strom für Heizung und Warmwasser) betrug 49,4 PJ und die Energiebezugsfläche 444 Millionen m². Im Jahr 2005 wohnten 7'459'100 Personen in der Schweiz (BFS 2006). Der mittlere Endenergieverbrauch für Elektrizität pro Person für Geräte und Beleuchtung beträgt 6'623 MJ/a bzw. 1'840 kWh/a. Bezogen auf den m² Energiebezugsfläche ergibt das 111 MJ/m²_{EBF} *a (31 kWh/m²_{EBF} *a).

Die Umrechnung von End- in Primärenergie erfolgt mit dem Faktor 2.9 gemäss Tabelle 6 (Schweizer Versorgungsmix ab Niederspannungsnetz inklusive Stromimporte). Der resultierende Primärenergieverbrauch pro Person für Geräte und Beleuchtung liegt bei 19'200 MJ/a (5'333 kWh/a) bzw. 323 MJ/m²_{EBF}*a (90 kWh/m²_{EBF} *a).

Wenn wie erwartet in Zukunft der Wärmedämmstandard von Wohngebäuden stark verbessert wird und der Energieverbrauch für Raumwärme stark abnimmt, wird der Anteil des Stromverbrauches der Beleuchtung und der Geräte am gesamten Betriebsenergieverbrauch steigen. Da beim Stromverbrauch der Haushalte mit weiter zunehmender Energiedienstleistungsnachfrage zu rechnen ist, dürfte ihr Anteil am gesamten Betriebs-Primärenergieverbrauch trotz der Energieeffizienzpotenzialen bei den Elektrizitätsanwendungen wesentlich zunehmen und stark steigende Bedeutung erhalten.

5.2 Primärenergieverbrauch der Infrastruktur

5.2.1 Untersuchungsgegenstand Infrastruktur

Für die Ermittlung des siedlungsspezifischen Primärenergieverbrauchs für die Infrastruktur in den Untersuchungsgebieten werden alle Infrastrukturelemente der gebäudegebundenen Erschliessung und Versorgung berücksichtigt.

Als gebäudegebunden werden hier die Infrastrukturelemente der inneren Erschliessung angesehen. Die äussere Erschliessung wird nicht berücksichtigt. Die innere bzw. quartier- oder siedlungsinterne Erschliessung umfasst die Feinerschliessung der (Wohn-) Bauten. Die äussere Erschliessung besteht aus den Infrastrukturen der den Wohnquartieren übergeordneten kommunalen, regionalen, kantonalen und nationalen Netze und Strukturen (Groberschliessung; Schiller 2004). Der jeweilige Perimeter der einem Quartier zugehörigen äusseren Erschliessung sowie die angemessene Zuteilung zum Quartier sind unklar (je nachdem Perimeter Schweiz, Kanton, Region oder ganze Gemeinde). Deshalb wird vereinfachend für den Quartiervergleich nur die innere Erschliessung erfasst. Der Einfluss der Nähe zu wichtigen Elementen der äusseren Erschliessung (Autobahnanschlüsse, Bahnhöfe) ist beim Energieverbrauch für die Mobilität (Kapitel 0) allenfalls zum Teil implizit berücksichtigt.

Der Primärenergieverbrauch der gebäudegebundenen Infrastruktur umfasst neben den Erschliessungsinfrastrukturen auf der jeweiligen Parzelle nur die Strassen der quartierinternen Feinerschliessung (s. Abbildung der erfassten Perimeter in Kapitel 4.2) sowie die Infrastrukturnetze der Versorgung (Wasser, Gas, Elektrizität, Fernwärme) und der Entsorgung (Abwasser) in den Untersuchungsgebieten. Es wird sowohl der Primärenergieverbrauch für die Erstellung und Entsorgung als auch für den Betrieb der Infrastrukturnetze ermittelt.

5.2.2 Energieverbrauch für die Erstellung und Entsorgung der Infrastrukturnetze

Vorgehen:

Zur Bestimmung des Primärenergieverbrauchs für die Bereitstellung (Erstellung und Entsorgung) der verschiedenen gebäudegebundenen Infrastrukturelemente werden deren Laufmeter bzw. Flächen in den Untersuchungsgebieten erhoben und diese mit dem jeweiligen Primärenergieverbrauch pro Laufmeter respektive pro Quadratmeter multipliziert.

Für die Abschätzung des Primärenergieverbrauchs (KEA) für die Erstellung und Entsorgung der Infrastrukturelemente werden Daten aus Frischknecht et al. (1996, 2007) verwendet. Berücksichtigt im KEA werden Material- und Bauaufwand, Transporte, Erneuerung und die Entsorgung der verschiedenen Elemente. Die Lebensdauern liegen zwischen 15 Jahren für Strassenoberflächen und 100 Jahren für Abwasserrohre. Die KEA werden für die vorliegende Untersuchung in Werte pro Jahr und Laufmeter respektive Quadratmeter umgerechnet.

Infrastrukturelement	Kumulierter Energieaufwand	Einheit
Strasse	47	MJ/(m ² _{Strasse} *a)
Abwasser	88	MJ/(m _{Leitung} *a)
Wasser	12	MJ/(m _{Leitung} *a)
Gas	32	MJ/(m _{Leitung} *a)
Strom	7	MJ/(m _{Leitung} *a)
Fernwärme	113	MJ/(m _{Leitung} *a)

Quelle: Umrechnungen **e c o n c e p t** nach Frischknecht et al. 1996 und 2007

Tabelle 8: Kumulierter Energieaufwand verschiedener Infrastrukturelemente pro Fläche bzw. Laufmeter.

Nicht für alle in Tabelle 8 aufgeführten Infrastrukturelemente sind Daten zu den in den Untersuchungsgebieten verlegten Infrastrukturnetzen verfügbar (vgl. Tabelle 9). Insbesondere die Infrastrukturnetze der Energieversorgung (Gas, Elektrizität, Fernwärme) werden in den Gemeinden nicht standardmässig erfasst, weshalb ihre Längen teilweise geschätzt werden mussten.

Leitungsnetz Wasser und Abwasser:

Die Länge des Versorgungsnetzes für Wasser und Abwasser in der Stadt Uster wird anhand der Strassenlängen in Uster und mit Hilfe der Verhältnisse Rohrleitungslängen zu Strassenlängen in Zürich und Effretikon abgeschätzt. Dabei wird für Uster ein Mittelwert zwischen den Werten in Zürich und Effretikon gewählt, da Uster laut Gemeindetypologie (Kapitel 5.3.2) zwischen diesen beiden Gemeinden eingeordnet wird.

Gasversorgungsnetz:

Oetwil am See ist nicht gasversorgt. Bei den drei übrigen Untersuchungsgebieten wird nur in Zürich die Länge des Gasversorgungsnetzes im Gemeindekataster erfasst. Die Längen der Gasversorgungsnetze in Uster und Effretikon werden anhand der jeweiligen Strassenlängen in den beiden Untersuchungsgebieten und unter Verwendung des Verhältnisses Gasleitungsnetz zur gesamten Strassenlänge im Stadtzürcher Untersuchungsgebiet abgeschätzt.

Elektrizitätsnetz:

Da nur für Zürich und Oetwil am See die Längen der Elektrizitätsleitungen vorliegen werden die Leitungslängen in Uster und Effretikon anhand der Strassenlänge in Uster respektive Effretikon und des Mittelwerts von Stromleitungsnetz zu Strassenlängen in Zürich und Oetwil am See abgeleitet. Der Mittelwert wird ge-

wählt, weil gemäss Gemeindetypologie Uster und Effretikon zwischen Zürich und Oetwil am See eingeordnet werden.

Fernwärme:

Die Gebäude im Stadtzürcher Untersuchungsgebiet sind teilweise an das Fernwärmenetz Binz angeschlossen. Die Länge des Leitungsnetzes im Untersuchungsgebiet ist nicht im Gemeindekataster enthalten, weswegen die Länge geschätzt wird. Das gesamte Leitungsnetz der Fernwärmeversorgung Binz inklusive versorgte Gebiete ausserhalb des Untersuchungsperimeters hat eine Länge von rund 700 Metern. Die Länge der Fernwärmeleitungen innerhalb des Untersuchungsgebiets wird auf 350 Meter geschätzt.

Infrastrukturelement	Effretikon	Oetwil a. See	Uster	Zürich
Abwasserleitungen (Kataster)	vorhanden	vorhanden	abgeschätzt	vorhanden
Wasserversorgung (Kataster)	vorhanden	vorhanden	abgeschätzt	vorhanden
Stromleitungen (Kataster)	abgeschätzt	vorhanden	abgeschätzt	vorhanden
Gasleitungen	abgeschätzt	nicht gasversorgt	abgeschätzt	vorhanden
Fernwärmeleitungen	keine Fernwärme	keine Fernwärme	keine Fernwärme	vorhanden
Strassenlänge	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
Strassenfläche exkl. Trottoirs und öff. Gehwege	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden

Tabelle 9: Datenverfügbarkeit der verschiedenen Infrastrukturelemente in den Untersuchungsgebieten.

5.2.3 Endenergieverbrauch für den Betrieb der Infrastrukturnetze

Vorgehen:

Von den für den Energieverbrauch während des Betriebs wichtigsten wohnungsgebundenen Infrastrukturen wird anhand gesamtschweizerischer Verbrauchswerte der Primärenergieverbrauch pro Quadratmeter BGF und pro Person abgeschätzt.

In der Analyse des Energieverbrauchs für den Betrieb der Infrastrukturnetze werden nur die relativ energieintensiven Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsnetze berücksichtigt (elektrisch betriebene Pumpen; Heizungen in ARA, etc.).

Der Energieverbrauch für den Betrieb der Gas- und Stromleitungsnetze wird angesichts der Genauigkeit der übrigen erfassten Verbräuche und der geringen Bedeutung der Betriebsverluste in den Strom- und Gas-Quartiernetzen vernachlässigt. Die Erneuerung von Strassen wird bei der Erstellung und Entsorgung der Infrastrukturnetze berücksichtigt (Kapitel 5.2.2).

Der Primärenergieverbrauch für den Betrieb der Wasser- und Abwasserleitungen basiert auf gesamtschweizerischen Verbrauchswerten. Der Primärenergieverbrauch pro QuartierbewohnerIn wird dabei in einen Verbrauch pro Quadratmeter BGF umgerechnet.

Mit der Verwendung gesamtschweizerischer Zahlen wird der Energieverbrauch in den Untersuchungsgebieten nur grob abgeschätzt. Der Vergleich der spezifischen Verbrauchswerte in den Untersuchungsgebieten wäre jedoch nur bedingt sinnvoll, da die spezifischen Verbrauchswerte insbesondere der ARA durch regionale Besonderheiten entscheidend geprägt sein können. Gemäss AWEL²³ können kantonale Vorgaben für einzelne ARA zu Art und Anzahl der Klärstufen respektive zu Grenzwerten im Vorfluter einen dominanten Einfluss auf die Energieverbrauchswerte pro EinwohnerIn haben. Die sich dadurch ergebenden Unterschiede zwischen Verbrauchswerten verschiedener ARA spiegeln somit nicht in erster Linie siedlungsstrukturspezifische Unterschiede wieder, wie sie in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

Der Anteil der Haushalte an der Trinkwasserversorgung beträgt in der Schweiz rund 60% (SVGW 2001). Es wird davon ausgegangen, dass beim Energieverbrauch der Abwasserreinigung der Anteil der Haushalte gleich hoch ist.

Primärenergieverbrauch Trinkwasser (Aufbereitung, Transport, Verteilung):

In der Schweiz werden jährlich rund 1'080 TJ Strom für die Trinkwasserversor-

²³ Telefonische Auskunft AWEL 2007

gung benötigt (BFE 2007b). Die Wohnbevölkerung im Jahr 2000 umfasste 7,3 Millionen Personen. Mit einem Anteil der Haushalte am Trinkwasserverbrauch von 60% ergibt sich ein pro Kopf-Verbrauch von 90 MJ pro Jahr und Person Endenergie oder 258 MJ pro Jahr und Person Primärenergie.

Endenergieverbrauch Abwasser:

Zur Bestimmung des Energieverbrauchs für die Abwasseraufbereitung werden Daten aus einer Publikation des AWEL übernommen (AWEL 2007c). Dort wird von einem jährlichen Endenergieverbrauch pro Person von 160 MJ Wärme und von 130 MJ Strom ausgegangen. Mit einem Anteil der Haushalte von 60% am Abwasseraufkommen und umgerechnet auf den Primärenergieverbrauch ergeben sich 120 MJ_{primär} für Wärme und 225 MJ_{primär} für Strom, die pro Person und Jahr für die Abwasseraufbereitung benötigt werden²⁴.

Der Primärenergieverbrauch für den Betrieb der Wasser- und Abwasserinfrastrukturen beläuft sich gesamthaft auf 835 MJ pro Person und Jahr.

Zurechnung des Energieverbrauchs für die Quartierinfrastrukturen:

Die ausgewählten Untersuchungsgebiete sind hauptsächlich Wohngebiete mit nur wenig Gebäudefläche für wirtschaftliche Nutzungen. Der Primärenergieverbrauch der erfassten Quartierinfrastrukturen wird daher etwas vereinfachend der Wohnnutzung zugerechnet.

5.3 Primärenergieverbrauch der wohnungsabhängigen Mobilität

5.3.1 Untersuchungsgegenstand wohnungsabhängige Mobilität

Bei der Untersuchung des Primärenergieverbrauchs der wohnungsabhängigen Mobilität werden die Fahrten der QuartierbewohnerInnen und Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der für diese Fahrten benötigten Verkehrsmittel berücksichtigt.

Die in die Untersuchung eingehenden **Verkehrszwecke** sind der Pendlerverkehr inklusive Ausbildungsverkehr, der Einkaufs-, Freizeit- und Begleitungs-/Serviceverkehr, da diese in engem Zusammenhang zur Funktion 'Wohnen' stehen.

Für die Analyse des wohnungsabhängigen Verkehrs werden nur **inländische Verkehrsleistungen** für die erwähnten Verkehrszwecke erfasst (ohne Güterver-

²⁴ Umrechnungsfaktoren End- zu Primärenergie gemäss Tabelle 6. Annahme Wärme: je 50% Gas und Öl.

kehr). Neben dem motorisierten Individualverkehr (MIV) und dem öffentlichen Verkehr (ÖV) wird auch der Langsamverkehr (LV) erfasst. Der LV wird im vorliegenden Kapitel nicht explizit aufgeführt. Die LV-Verkehrsleistungen wurden jedoch erfasst. Sie sind im Sinne der Vermeidung von Energieverbrauch sehr relevant und werden daher in Anhang A3 für die verschiedenen Verkehrszwecke und die untersuchten 13 schweizerischen Gemeindetypen dokumentiert.

Der Ressourcenaufwand für die **Fahrzeugherstellung** wird für den MIV und den ÖV getrennt betrachtet und aufgrund des Anteils der Fahrleistungen der wohnungsabhängigen Verkehrszwecke an den Gesamtfahrleistungen ermittelt.

Für die Analyse wurde ein modifizierter Datensatz des „Mikrozensus Verkehrsverhalten 2000“ (MZ 2000) verwendet, der vom Bundesamt für Statistik (BFS) publiziert wird (Details siehe Anhang A3). Beim Primärenergieverbrauch der wohnungsabhängigen Mobilität wird unterschieden nach dem Energieverbrauch während der Nutzung und dem Energieverbrauch zur Bereitstellung der verschiedenen Verkehrsmittel.

5.3.2 Energieverbrauch durch die Nutzung der Verkehrsmittel

Vorgehen:

Für die Berechnung des Primärenergieverbrauchs durch die Nutzung der Verkehrsmittel werden in einem ersten Schritt die je Verkehrsmittel für die unterschiedlichen Fahrzwecke zurückgelegten Wege pro Person in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur ermittelt. Diese werden anschliessend mit dem spezifischen Energieverbrauch und weiteren mobilitäts- und siedlungsspezifischen Faktoren verrechnet.

Fahrleistungen des "wohnungsabhängigen Verkehrs"

Zum "wohnungsabhängigen Verkehr" werden alle Etappen der Wohnbevölkerung gezählt, die ihre Start- oder Zieladresse in der Wohngemeinde der im MZ 2000 Befragten haben. Diese tendenziell leicht überschätzende Definition musste gewählt werden, weil bei der Erfassung der genauen Start- und Zieladressen Fehler gemacht wurden, so dass bei einem Abgleich sehr viele wohnungsbezogene Etappen nicht als solche erkannt worden wären. 220'197 Fälle, d.h. 81% der verwendeten Etappen, sind "wohnungsabhängig". Die übrigen am Stichtag erfassten Etappen haben keinen Bezug zum Wohnort; sie wurden teilweise im Ausland zurückgelegt.

Wie bereits vorne erwähnt, beruht die Zuordnung aller Etappen zur wohnungsinduzierten Mobilität, die als **Quelle oder Ziel** die Wohnung haben, auf der Überle-

gung, dass mit der Wahl der Wohnung und damit des Wohnungsstandortes, die erforderlichen Etappen für die Erfüllung der Bedürfnisse der Bewohnenden bestimmt werden. Um die Energierelevanz der Wohnungs- und Wohnortwahl abzubilden, sind daher alle Einkaufs-, Pendler, Ausbildungs-, Freizeit- und Begleitungs-etappen als von der Wohnung bzw. vom Wohnstandort abhängig zu betrachten²⁵.

Datensatz

Seit 1974 werden in der Schweiz alle 5 Jahre statistische Erhebungen zum Verkehrsverhalten der Bevölkerung unter dem Namen "Mikrozensus Verkehrsverhalten" durchgeführt. Unter anderem wird dabei nach der Tagesmobilität der Personen gefragt, welche anschliessend in Etappen und Wege unterteilt wird. Zur Ermittlung des Energieverbrauchs sind die Etappen wichtiger als die Wege, weil eine Etappe jeweils ohne Fahrzeugwechsel zurückgelegt wird. Aus den Angaben zu den Etappen und zum Energieverbrauch der benutzten Verkehrsmittel wird der Energieverbrauch einer Etappe abgeschätzt.

Der Datensatz „Mikrozensus Verkehrsverhalten 2000“ (MZ 2000) vom BFS wies in einer ersten Überprüfung zu viele Fehler, fehlende Informationen und Inkonsistenzen auf, weswegen die Berechnungen mit dem verbesserten bzw. angereicherten Datensatz des Instituts für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) der ETH Zürich durchgeführt wurden.²⁶ Auch im IVT-MZ 2000 Datensatz fehlen bei einem Teil der Etappen vorhabensrelevante Angaben. Es können jedoch 272'268 Etappen (98,5%) für die Auswertungen verwendet werden.

Gemeinde- bzw. Siedlungstypologie

Die wohnungsabhängigen Etappen wurden den verschiedenen Gemeinde- bzw. Siedlungstypen zugeordnet. In der Schweiz werden drei miteinander verwandte Gemeindetypologien verwendet: die BFS-Gemeindetypologien mit 9 bzw. 22 verschiedenen Gemeindeklassen und die hauptsächlich am IVT gebräuchliche Gemeinde- bzw. Raumtypologie des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE) mit 13 verschiedenen Raum- bzw. Gemeindetypen. Diese Typologien stützen sich auf Zentrum-Peripherie-Modelle, welche funktionale Beziehungen und Verflechtungen zwischen den Gemeinden sowie demografische, sozioökonomische, wirtschaftliche und raumplanerische Belange berücksichtigen.

²⁵ Im SIA-Effizienzpfad Energie wird demgegenüber beispielsweise bei den Pendleretappen jeweils eine Etappe der Wohnung und eine dem Arbeitsplatz zugerechnet, was uns aber für die hier angestellten Betrachtungen als nicht adäquat erscheint

²⁶ Wir danken dem IVT-Institut für die Bereitstellung der Daten und seinen Mitarbeitern M. Tschopp und S. Chalasani für die Beratung bei deren Anwendung.

Für den Untersuchungsfokus des vorliegenden Projektes ist die ARE-Gemeindetypologie aus dem Jahr 2002 am zweckmässigsten. Sie wurde ausdrücklich aus der Optik der Verkehrsgesetzmässigkeiten erstellt und wird auch "verkehrliche Raumgliederung" genannt (ARE 2002). Von den 13 Gemeindetypen sind die ersten sieben in städtischen und die anderen sechs in ländlichen Gebieten zu lokalisieren.

In der Folge werden die vier verwendeten Gemeindetypen, zu welchen die Gemeinden Zürich, Uster, Effretikon und Oetwil am See gehören, mit ihren spezifischen Merkmalen und Eigenschaften vorgestellt:

ARE1 "Grosszentren"

Dazugehörige Gemeinden: **Zürich**, Basel, Bern, Genève, Lausanne, Lugano, Luzern, St. Gallen, Winterthur.

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Gemeinden mit unbestritten zentralen Funktionen und mehr als 100'000 EinwohnerInnen, wenig Kindern und vielen hoch betagten Menschen, sehr hoher Anteil der Einzelhaushalte, sehr wenige Arbeitsplätze im 1. und sehr viele im 3. Sektor, viele Detailhandels-Geschäfte und Beschäftigte (gute lokale Einkaufsmöglichkeiten), wesentlich mehr Beschäftigte als BewohnerInnen (Zupendlergemeinden), sehr hohe Siedlungsdichte, viele Sportstätten und Kultureinrichtungen (gutes lokales Freizeitangebot), beste Erreichbarkeit und vergleichsweise wenige Personenwagen pro EinwohnerIn.

ARE2 "Nebenzentren der Grosszentren"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: **Uster**, Allschwil, Pratteln, Köniz, Morges, Emmen, Gossau, Bülach.

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Wenige Arbeitsplätze im 1. und viele Arbeitsplätze im 3. Sektor, hohe Siedlungsdichte, gute Erreichbarkeit des Grosszentrums sowohl mit dem öffentlichen wie auch dem privaten Verkehr.

ARE3 "Innerer Gürtel der Grosszentren-Agglomeration"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: **Effretikon**, Affoltern am Albis, Adliswil, Meilen, Ostermundigen, Hergiswil, Arlesheim, Ecublens.

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: mehr BewohnerInnen als Beschäftigte (Wegpendlergemeinden), mittlere IV- und ÖV-Erreichbarkeit.

ARE9 "Nichtstädtische Wegpendlergemeinden"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: **Oetwil am See**, Eglisau, Aarwangen, Hagenbuch, Röschenz, Endingen, Visperterminen.

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Sehr viele Fa-

milienhaushalte mit Kindern, relativ wenig Betagte und ältere Personen, ein starkes Missverhältnis zwischen BewohnerInnen- und Arbeitsplatzzahl (deutlich ausgeprägte Wegpendlergemeinden), viele Arbeitsplätze im 1. und 2. und weniger Arbeitsplätze im 3. Sektor, schlechte lokale Detailhandels-Einkaufsmöglichkeiten, geringe Siedlungsdichte, mittlere IV- und schlechte ÖV-Erreichbarkeit.

Wohnungsabhängiger Primärenergieverbrauch für die Mobilität

Der jährliche wohnungsabhängige Verkehrs-Endenergieverbrauch (WVEV) einzelner Raum- bzw. Gemeindetypen wurden nach der folgenden Formel berechnet:

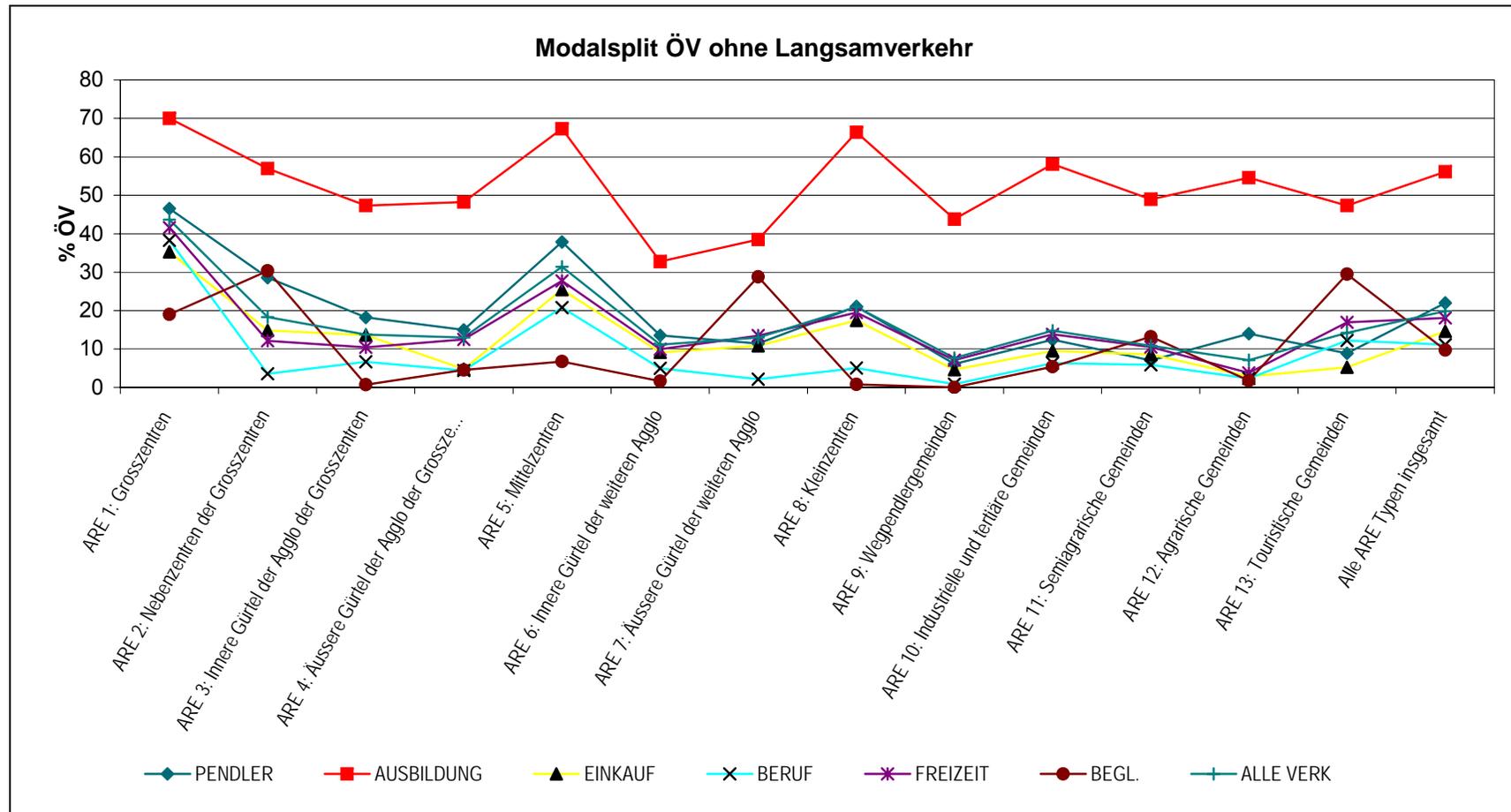
$$\begin{aligned} & \text{Wohnungsabhängiger Verkehrs-Endenergieverbrauch pro Person} = \\ & \text{Anzahl Etappen am Stichtag} \\ & * \text{ durchschnittliche Etappenlänge} \\ & * \text{ spezifischer Endenergieverbrauch des jeweiligen Verkehrsmittels} \\ & * \text{ raumtypus- und verkehrszweckspezifischer Gewichtungsfaktor} \\ & * \text{ raumspezifischer Expansionsfaktor} \\ & * 365 \text{ (Umrechnung von Tag auf Jahr)} \\ & / \text{ durchschnittliche Besetzungsgrade der jeweiligen Fahrzeuge.} \end{aligned}$$

Zur Berechnung des entsprechenden Primärenergieverbrauchs muss der Endenergieverbrauch zusätzlich mit einem Umrechnungsfaktor „Primärenergieverbrauch zu Endenergieverbrauch“ multipliziert werden, welcher je nach Verkehrsmittel zwischen 1,3 und 2,9 liegt.²⁷

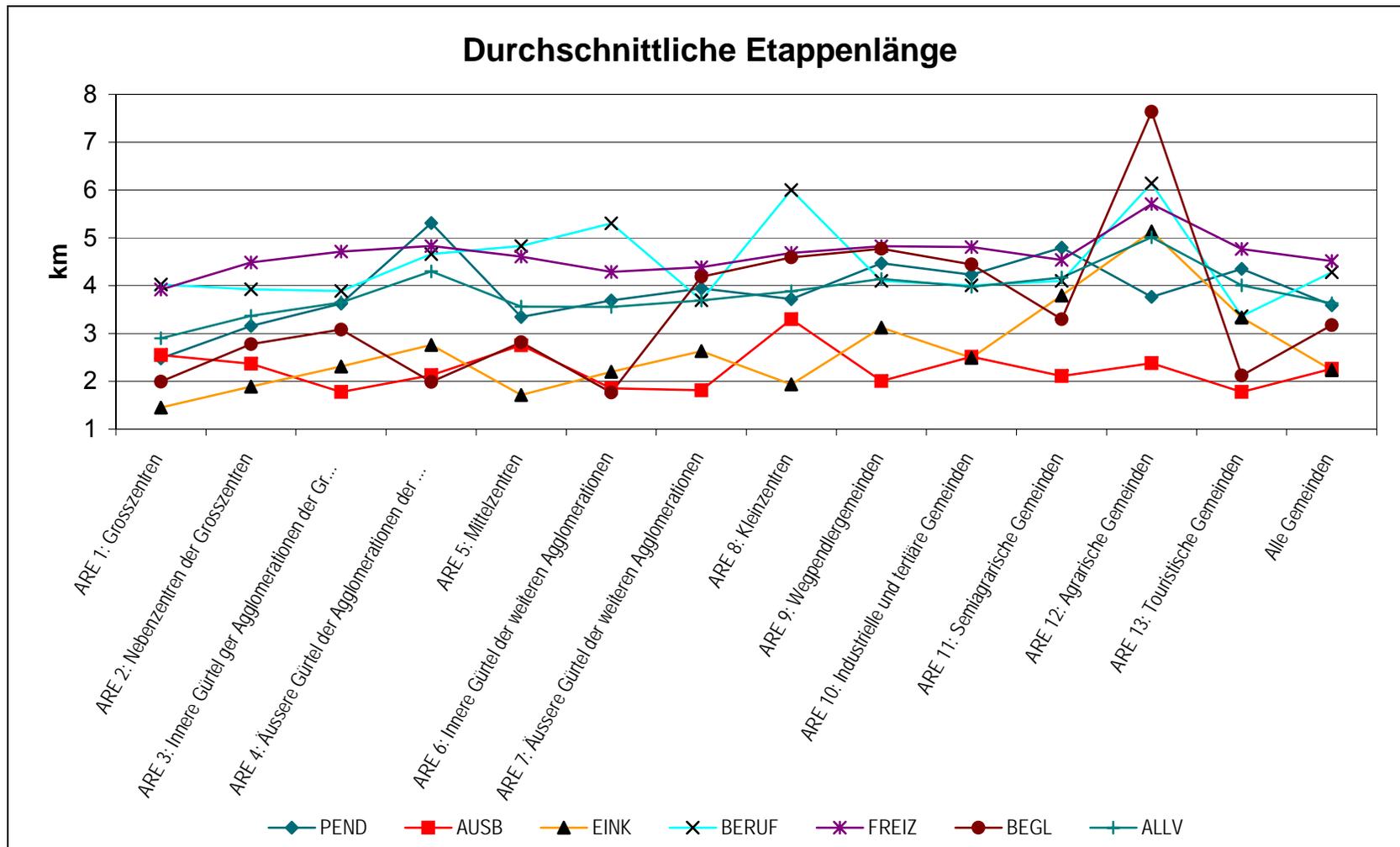
Figur 14 (siehe unten) illustriert den Modalsplit **ohne Langsamverkehr** nach Verkehrszweck in den 13 ARE Gemeindetypen. Daraus wird deutlich, dass Zentrumsgemeinden mit besserem ÖV-Angebot einen deutlich höheren ÖV-Anteil aufweisen, was einer der Gründe für den je nach Gemeindetypus verschiedenen Primärenergieverbrauch für Mobilität ist.

Figur 15 dokumentiert die unterschiedlichen Etappenlängen nach Verkehrszweck und Gemeindetypus als weiteren erklärenden Faktor für den je nach Gemeindetypus divergierenden Primärenergieverbrauch für die wohnungsinduzierte Mobilität.

²⁷ Einzelne Umrechnungsfaktoren: Tabelle 13 im Anhang.



Figur 14: Anteil der diversen ÖV-Fahrleistungen in Prozent am Total der Fahrleistungen ohne Langsamverkehr: Modalsplit ÖV nach Verkehrszweck für die 13 ARE-Gemeindetypen (ALLE VERK: Alle Verkehrszwecke zusammen). Zürich: ARE 1, Uster: ARE 2, Effretikon: ARE 3, Oetwil am See: ARE 9.



Figur 15: Durchschnittliche Etappenlänge nach Verkehrszweck sowie für alle Verkehrszwecke für die 13 ARE-Gemeindetypen sowie für alle Gemeindetypen zusammen. Zürich: ARE 1, Uster: ARE 2, Effretikon: ARE 3, Oetwil am See: ARE 9

5.3.3 Energieverbrauch von Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsmittel

Vorgehen:

Ausgehend von den berechneten jährlichen Fahrleistungen pro Person und Verkehrsmittel in Abhängigkeit vom Siedlungstyp und ausgehend vom Energieverbrauch für die Herstellung der verwendeten Verkehrsmittel pro Personenkilometer wird der Primärenergieverbrauch von Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsmittel ermittelt.

Die im Bevölkerungsdurchschnitt jährlich zurückgelegten Personenkilometer, die je ARE-Siedlungstyp in ÖV und MIV zurückgelegt werden, wurden im Rahmen dieser Arbeit berechnet und sind in Tabelle 10 aufgeführt. Der LV wird hier nicht ausgewiesen, da er in den Berechnungen zum Primärenergieverbrauch nicht berücksichtigt wird.

	Durchschnittlich zurückgelegte Wege pro Person und Jahr [km/a*Pers.]		
	Total	mit ÖV	mit MIV
Effretikon	10'804 (100%)	1'427 (13%)	8'406 (78%)
Oetwil am See	13'020 (100%)	934 (7%)	10'772 (83%)
Uster	10'549 (100%)	1'865 (18%)	7'680 (73%)
Zürich	8'574 (100%)	3'602 (42%)	3'802 (44%)

Tabelle 10: Durchschnittlich zurückgelegte Wege in den Gemeinden in km pro Person und Jahr für wohnungsabhängige Mobilität. Gesamte Fahrleistung und Fahrleistungen für den öffentlichen Verkehr und den motorisierten Individualverkehr.

Zur Bestimmung des Primärenergieverbrauchs für Bau, Entsorgung und Unterhalt der Verkehrsmittel werden die Verbrauchswerte pro Personenkilometer benötigt, die Infrac (1995) entnommen werden. Für den MIV werden die Verbrauchswerte für PKW übernommen, der ÖV wird mit Werten für Regionalbusse, Tram und IC2000 (Züge) abgebildet. Dabei wird der Primärenergieverbrauch für Herstellung, Unterhalt, Entsorgung und indirekte Aufwendungen für die Verkehrsmittel berücksichtigt.

Beim Primärenergieverbrauch des ÖV werden die unterschiedlichen Fahrleistungen pro Person in Bus, Tram und Bahn berücksichtigt. Fahrleistungssplit gemäss der Auswertung des MZ 2000 im ÖV: Bus 35%, Tram 5%, Bahn 60%.

In Tabelle 11 wird der den Berechnungen zugrunde gelegte Primärenergieverbrauch für die Verkehrsmittel pro Personenkilometer wiedergegeben.

Verkehrsmittel	Primärenergieverbrauch für die Herstellung
Regionalbus	0,25 MJ/Pkm
Tram	0,13 MJ/Pkm
Zug	0,09 MJ/Pkm
Durchschnitt ÖV (Bus, Tram, Zug)	0,15 MJ/Pkm
Personenwagen	0,96 MJ/Pkm

Tabelle 11: Primärenergieverbrauch pro Personenkilometer für Herstellung, Unterhalt und Entsorgung verschiedener Verkehrsmittel.

Der gesamte Primärenergieverbrauch für Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsmittel pro EinwohnerIn ergibt sich aus der Summe der Anteile MIV und ÖV am Primärenergieverbrauch.

6 Ergebnisse zum Energieverbrauch nach Siedlungstyp

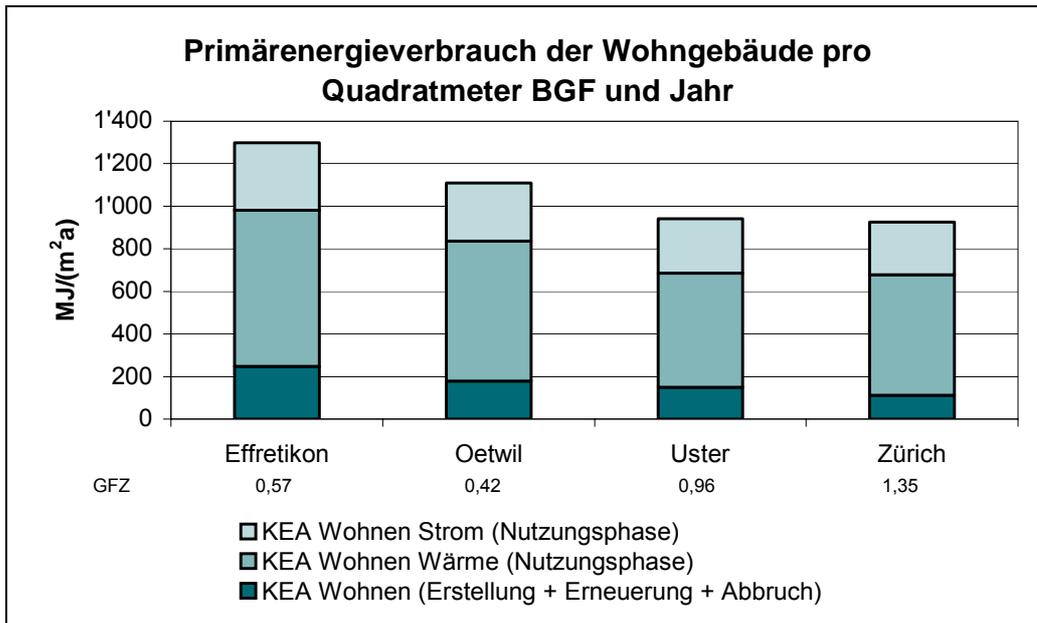
Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analysen für die Bereiche Gebäude, gebäudegebundene Infrastruktur und Mobilität aufgeführt, wonach der gesamte gebäudegebundene Primärenergieverbrauch der drei Bereiche dargestellt wird.

6.1 Ergebnisse zum Primärenergieverbrauch von Gebäuden

Der spezifische Primärenergieverbrauch der Wohngebäude pro Quadratmeter BGF und Jahr für die vier Untersuchungsgebiete ist in Figur 16 wiedergegeben. Er nimmt in der Reihenfolge Effretikon, Oetwil, Uster und Zürich ab. Der Beitrag des KEA der Nutzungsphase ist in allen Untersuchungsgebieten dominant.

Beim Primärenergieverbrauch für die Erstellung, Erneuerung und den Abbruch der Gebäude besteht in etwa eine Korrelation zwischen Energieverbrauch und der Geschossflächenziffer GFZ (als eine Grösse zur Charakterisierung der Siedlungsdichte bzw. -struktur) in den Untersuchungsgebieten, wobei der spezifische KEA bei steigender GFZ tendenziell sinkt. Die Korrelation entsteht durch den grösseren Anteil von MFH in den dichter besiedelten Untersuchungsgebieten (Uster und Zürich). Da MFH pro Quadratmeter BGF einen geringeren KEA für Erstellung, Erneuerung und Abbruch haben, weisen Gebiete mit einem hohen MFH-Anteil einen geringeren Verbrauch Grauer Energie auf.

Beim spezifischen KEA der Nutzungsphase besteht keine Korrelation mit der GFZ. Vielmehr ist die Bau- und Erneuerungsperiode der Gebäude entscheidend und zu einem kleineren Teil auch der Energieträgermix der jeweiligen Gemeinde. Beides ergibt sich aus der hier verwendeten Methodik. Der KEA der Nutzungsphase spiegelt folglich in erste Linie das durchschnittliche Alter der Gebäude im jeweiligen Untersuchungsgebiet wieder.



Figur 16: Jährlicher Primärenergieverbrauch der Wohngebäude in den vier Untersuchungsgebieten pro Quadratmeter BGF für Erstellung, Erneuerung und Abbruch sowie für die Gebäudenutzung.

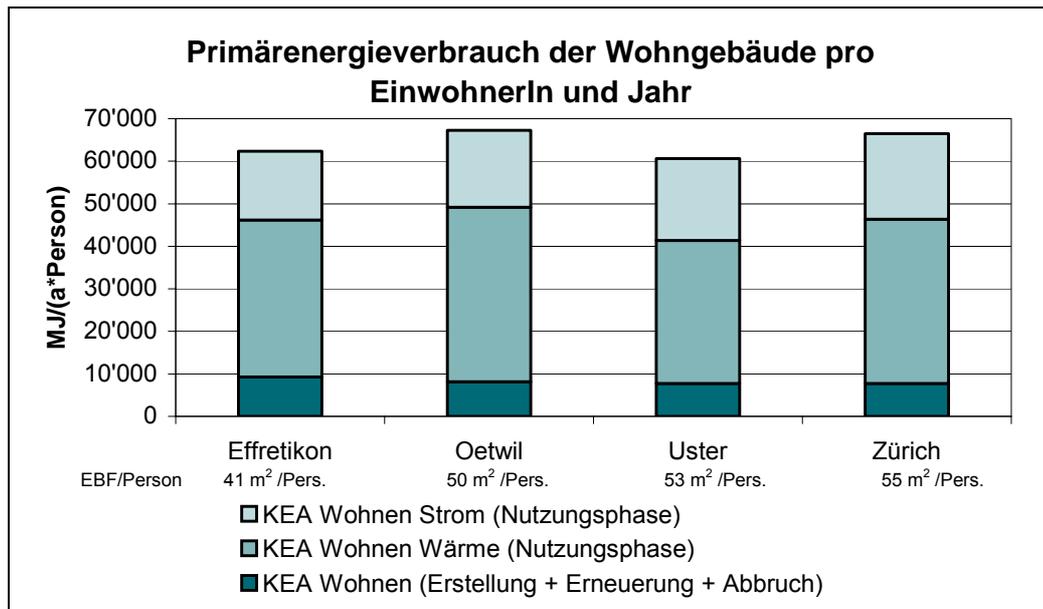
Aufgrund der durchschnittlichen Gebäudehüllziffern (GHZ) in den Untersuchungsgebieten (Tabelle 2, Seite 44) kann davon ausgegangen werden, dass sich der reale Primärenergieverbrauch während der Nutzungsphase der Gebäude in den Untersuchungsgebieten stärker unterscheidet, als in Figur 16 dargestellt. Die berechneten GHZ in den Untersuchungsgebieten nehmen in der Reihenfolge Oetwil am See (1,89), Effretikon (1,53), Zürich (1,37) und Uster (1,31) ab. Entsprechend ist zu erwarten, dass die Unterschiede im Energieverbrauch pro Quadratmeter zwischen den Gebieten mit höherer GHZ (Oetwil am See und Effretikon) und den Gebieten mit niedriger GHZ (Uster und Zürich) stärker ausgeprägt sind, als in der voranstehenden Figur.

Der Primärenergieverbrauch pro EinwohnerIn in den Untersuchungsgebieten (vgl. Figur 17) ergibt ein etwas anderes Bild, da die Wohnfläche pro EinwohnerIn bzw. die Belegungsdichte einen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Da im Untersuchungsgebiet in Effretikon pro Person weniger Wohnfläche zur Verfügung steht als in den übrigen Untersuchungsgebieten ($41 \text{ m}^2 \text{ EBF/Person}$), ist der Betriebs-Primärenergieverbrauch pro Person für Wohnen im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgebieten etwas geringer (vgl. Figur 17), trotz bezüglich Baujahr ungünstiger Baustruktur (fast alle Bauten wurden in der Periode von 1976-1980 mit relativ hohem Betriebsenergieverbrauch erstellt, s. Tabelle 3).

Dafür ist der KEA pro m² EBF wie auch pro Person für Erstellung, Erneuerung und Abbruch in Effretikon vergleichsweise hoch.

Das Untersuchungsgebiet in Zürich mit 55 m² EBF pro Person, weist daher erwartungsgemäss bei der Betrachtung des Primärenergieverbrauchs pro EinwohnerIn einen vergleichsweise hohen Verbrauch für Wohnen auf.



Figur 17 Jährlicher Primärenergieverbrauch der Wohngebäude in den vier Untersuchungsgebieten pro BewohnerIn für Erstellung, Erneuerung und Abbruch und für die Nutzungsphase.

Der Elektrizitätsverbrauch (vgl. Tabelle 12) hat einen hohen Anteil von 25 bis 27% am gesamten Primärenergieverbrauch während der Nutzungsphase (einer der Gründe: grosser Umrechnungsfaktor von 2,9 von End- zu Primärenergie, s. Tabelle 12).

Wie in Kapitel 5.1.3 bereits erwähnt, ist davon auszugehen, dass die Bedeutung des Elektrizitätsverbrauchs für Geräte und Beleuchtung in Zukunft zunehmen wird. Bei der Raumwärme wird der Verbrauch mit verbessertem Wärmeschutzstandard und effizienteren Wärmeerzeugungssystemen stark abnehmen und beim Warmwasser dürfte ein grösserer Teil erneuerbar produziert werden. Beim Elektrizitätsverbrauch dagegen, wird mit weiter zunehmender Energiedienstleistungsnachfrage gerechnet, wodurch trotz Effizienzpotenzialen der Verbrauch weit weniger stark abnehmen wird und der Anteil der Elektrizität am Primärenergieverbrauch in der Nutzungsphase der Wohnbauten steigen wird.

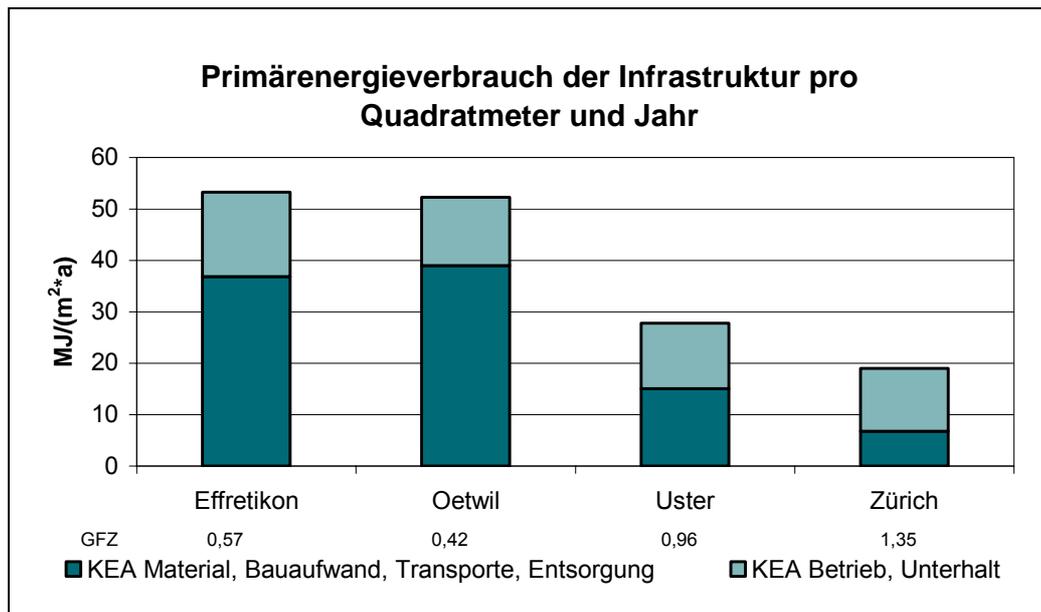
	Stromverbrauch pro m ² BGF			Stromverbrauch pro EinwohnerIn		
	Endenergie	Primärenergie	Einheit	Endenergie	Primärenergie	Einheit
Effretikon	110	318	MJ/(m ² *a)	5'566	16'140	MJ/(a*Pers.)
Oetwil	95	274	MJ/(m ² *a)	6'253	18'133	MJ/(a*Pers.)
Uster	88	257	MJ/(m ² *a)	6'660	19'311	MJ/(a*Pers.)
Zürich	85	247	MJ/(m ² *a)	6'918	20'064	MJ/(a*Pers.)

Tabelle 12: Jährlicher durchschnittlicher Stromverbrauch (End- und Primärenergieverbrauch) in Haushalten pro Person und pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche in den vier untersuchten Gemeinden.

6.2 Ergebnisse zum Primärenergieverbrauch der Infrastruktur

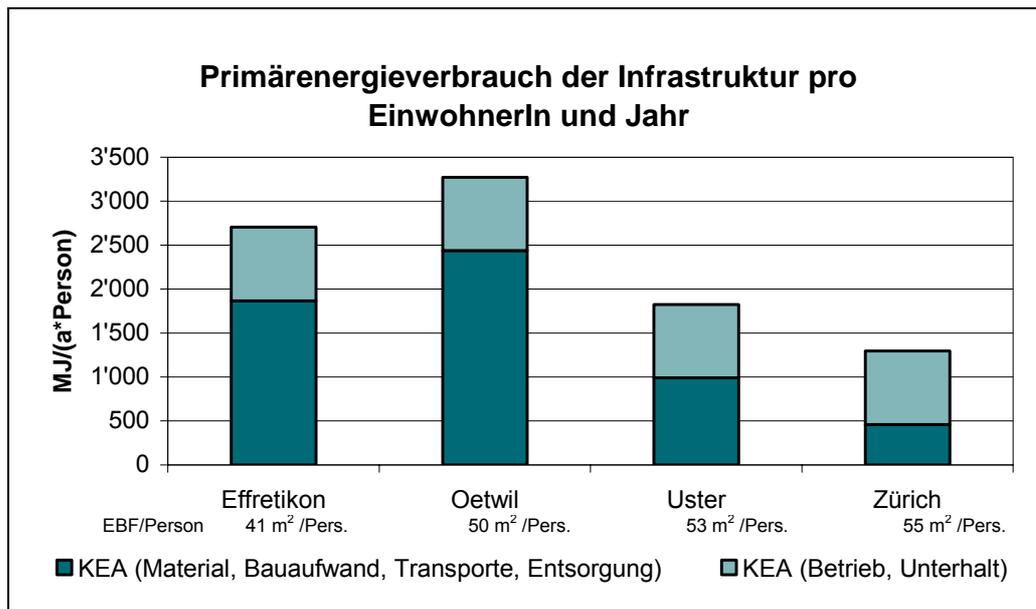
Beim Vergleich des Primärenergieverbrauchs durch die Infrastrukturen zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den vier Untersuchungsgebieten (vgl. Figur 18 und Figur 19). Der spezifische KEA für die Infrastrukturerstellung ist erwartungsgemäss negativ mit der Siedlungsdichte korreliert. Der spezifische KEA für die Infrastrukturerstellung, -erneuerung und den Abbruch ist um einen Faktor 4 - 12 geringer als derjenige für die Wohngebäudeerstellung, -erneuerung und den Abbruch.

In den Wohngebieten mit geringer GFZ (Effretikon, Oetwil am See) ist der Primärenergieverbrauch für die Erstellung der Infrastrukturnetze dominant. Im Untersuchungsgebiet der Stadt Zürich, welches die höchste GFZ hat, überwiegt der Einfluss des Primärenergieverbrauchs während der Nutzungsphase der Infrastruktur. Auffällig ist der vergleichsweise hohe spezifische Primärenergieverbrauch für den Infrastrukturbetrieb in Effretikon.



Figur 18: Jährlicher Primärenergieverbrauch der wohnungsgebundenen Infrastrukturen in den vier Untersuchungsgebieten pro Quadratmeter BGF für ihre Erstellung und für ihren Betrieb und Unterhalt.

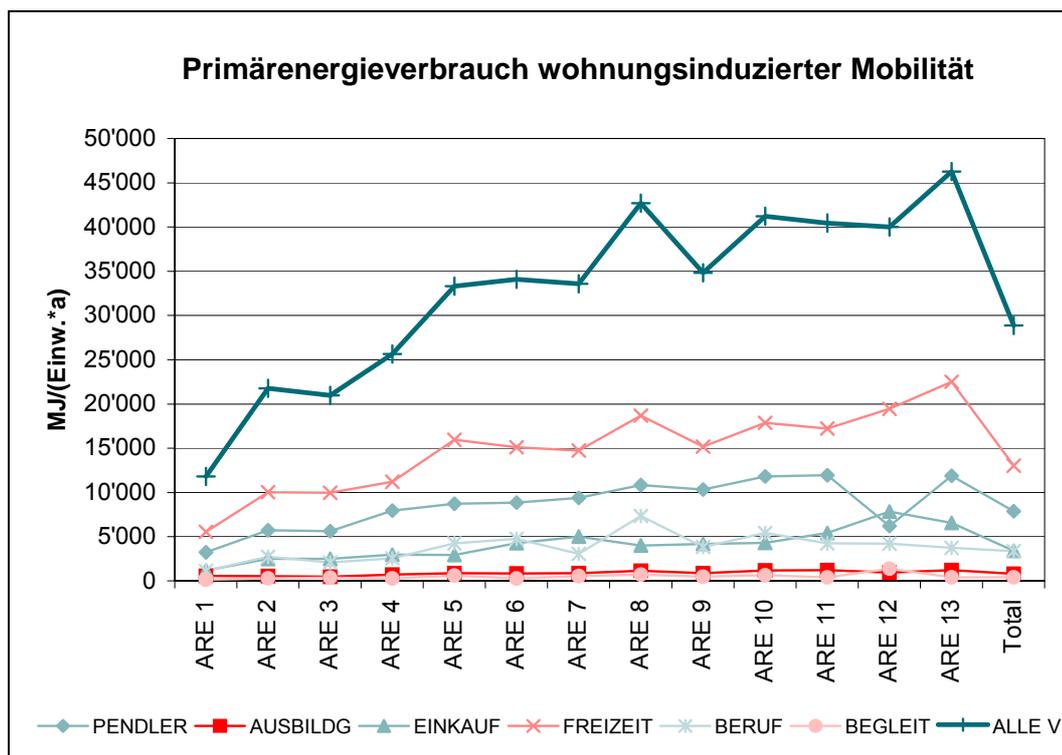
Bei der Darstellung des Primärenergieverbrauchs pro EinwohnerIn (vgl. Figur 19) zeigt sich wiederum der Einfluss einer hohen Personendichte pro Quadratmeter Wohnfläche. In Effretikon ist der Energieverbrauch für die Infrastruktur pro EinwohnerIn im Vergleich zu Figur 19 relativ niedrig; in Oetwil am See wiederum relativ hoch.



Figur 19: Primärenergieverbrauch der wohnungsgebundenen Infrastrukturen in den vier Untersuchungsgebieten pro EinwohnerIn und Jahr für ihre Erstellung und für ihren Betrieb und Unterhalt.

6.3 Ergebnisse Primärenergieverbrauch Mobilität (Fahrleistungen und Fahrzeugherstellung)

In Figur 20 werden die in Anhang A3 ermittelten Ergebnisse für den mittleren wohnungsinduzierten Primärenergieverbrauch (MJ pro Jahr und pro Person im Alter von 15-80 Jahren) für die 13 ARE-Gemeindetypen ausgewiesen. Die Unterschiede sind erheblich (grösser als Faktor 4): Erwartungsgemäss ist der Primärenergieverbrauch von EinwohnerInnen von Kernstädten wie Zürich (ARE 1) mit 11'800 MJ/Person pro Jahr am geringsten und bei touristischen Gemeinden (ARE 13) mit 46'300 MJ/a pro Person am grössten. In Uster (ARE 2) liegt der Primärenergieverbrauch bei 21'800 MJ/a pro Person, in Effretikon (ARE 3) bei 21'000 MJ/a pro Person und Oetwil am See (ARE 9) bei 34'800 MJ/a pro Person. Der schweizerische Durchschnitt beträgt 28'900 MJ/a pro Person.



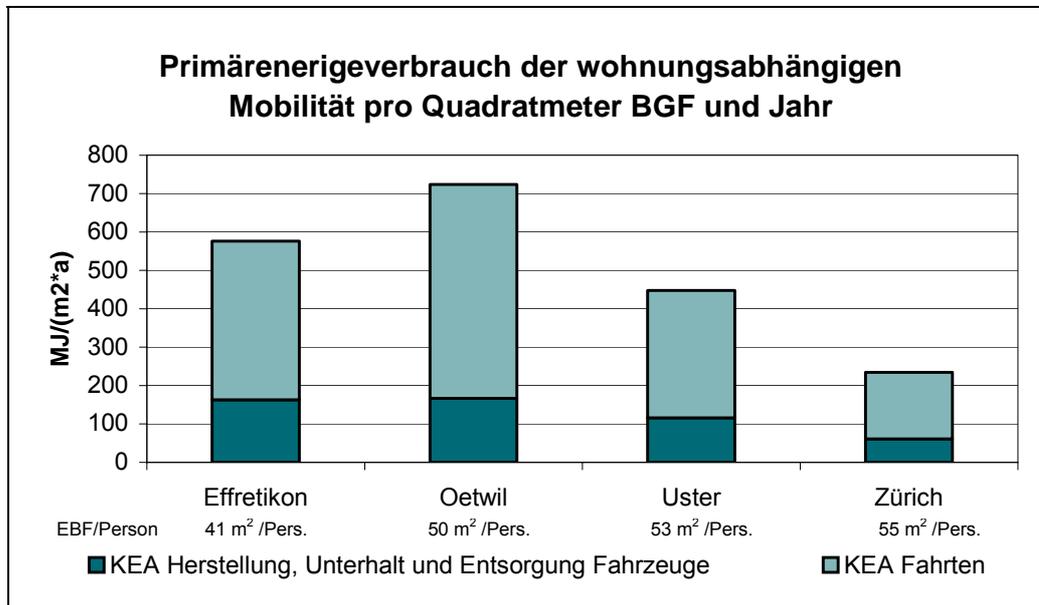
Figur 20: Durchschnittlicher Primärenergieverbrauch wohnungsinduzierter Mobilität in Megajoule pro Jahr und Einwohner im Alter von 15-80 Jahren für die 13 Gemeindetypen gemäss Gemeindeklassifikation des ARE. Zürich: ARE 1, Uster: ARE 2, Effretikon: ARE 3, Oetwil a. S.: ARE 9.

Bei der Ermittlung des Primärenergieverbrauchs in den vier Untersuchungsgebieten, wurde angenommen, dass in den Untersuchungsgebieten der selbe Energieverbrauch für die Fahrleistungen entsteht, wie in der Gemeinde, in dem das jeweilige Untersuchungsgebiet liegt. Der Primärenergieverbrauch wurde also nicht quartiers- sondern nur gemeindespezifisch (gemäss ARE-Gemeindetypen) ermittelt. Zusätzlich wurde der Primärenergieverbrauch für die Fahrzeugherstellung für die vier Gemeinden ermittelt. Im Folgenden werden die Summe der Fahrleistungen ("alle Verkehrsarten", dunkle, fette Linie in Figur 20) und die Graue Energie für die Fahrzeugherstellung in den Gemeinden verglichen.

Die Ermittlung des jährlichen Primärenergieverbrauchs für die wohnungsabhängige Mobilität pro Quadratmeter BGF (Figur 21) ergibt erwartungsgemäss für das Stadtzürcher Wohngebiet die geringsten Verbrauchswerte und für Oetwil am See die höchsten. Uster und Effretikon weisen mittlere Werte auf.

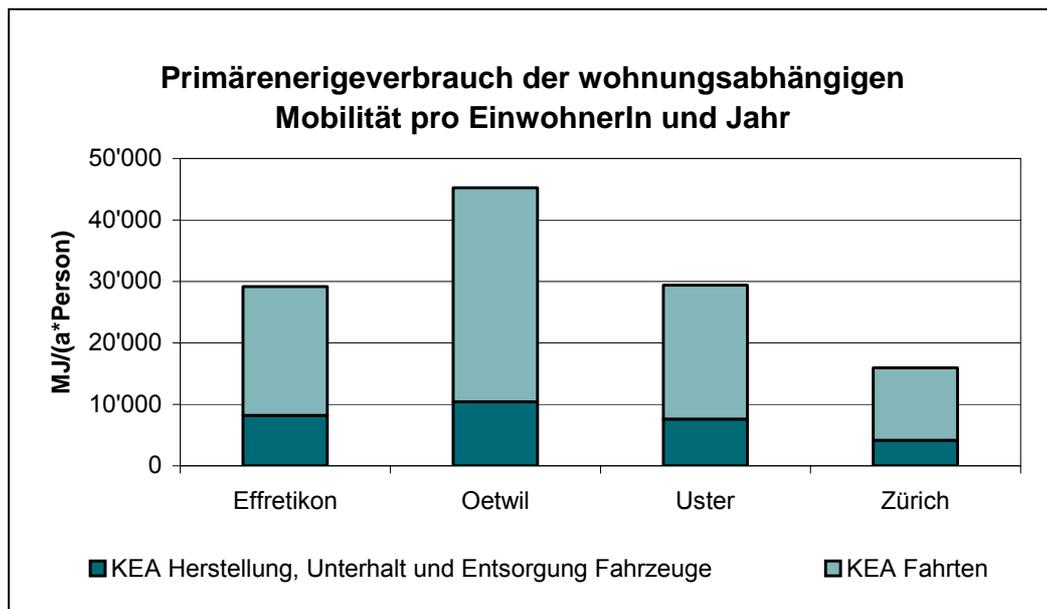
Der Hauptanteil am Primärenergieverbrauch der wohnungsabhängigen Mobilität wird durch die Nutzung der Verkehrsmittel (KEA Fahrten) generiert, wobei die Wahl des Verkehrsmittels (MIV, ÖV, LV) einen starken Einfluss auf den Energie-

verbrauch hat. Der Anteil des KEA für Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge liegt in jedem Untersuchungsgebiet bei rund 30%.



Figur 21: Jährlicher Primärenergieverbrauch für wohnungsabhängige Mobilität pro Quadratmeter BGF in den vier untersuchten Gemeindetypen.

Der Primärenergieverbrauch pro EinwohnerIn (vgl. Figur 22) ist für Effretikon und Uster ähnlich. Die EinwohnerInnen in Oetwil am See weisen erwartungsgemäss einen deutlich höheren (grösste Fahrleistung/Person, geringster ÖV-Anteil, vgl. Tabelle 10), diejenigen in der Stadt Zürich den geringsten Primärenergieverbrauch für ihre Mobilität auf.



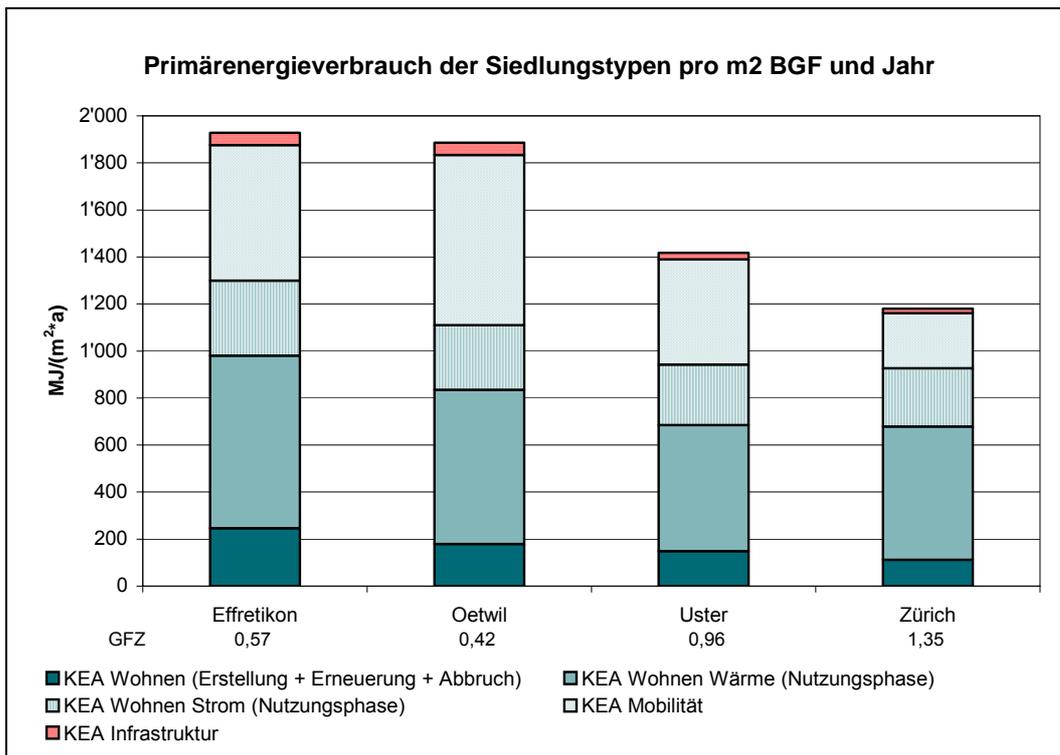
Figur 22: Jährlicher Primärenergieverbrauch für wohnungsabhängigen Verkehr pro EinwohnerIn im Alter zwischen 15 und 80 Jahren in den vier untersuchten Gemeindetypen.

6.4 Synthese der Ergebnisse: Einflüsse verschiedener Strukturmerkmale auf den Primärenergieverbrauch von Siedlungen

Die folgenden Figuren dokumentieren den gesamten wohnungsabhängigen Primärenergieverbrauch in den vier Untersuchungsgebieten für die Bereiche Gebäude (Erstellung, Erneuerung und Abbruch sowie Nutzung), wohnungsgebundene Infrastruktur und Mobilität.

Den weitaus grössten Anteil am Primärenergieverbrauch haben die **Nutzungsphase der Gebäude und die Mobilität** (vgl. Figur 23 und Figur 24): Bezogen auf den spezifischen Verbrauch pro m² BGF bzw. pro Person weisen diese zwei Verbrauchselemente in allen vier Untersuchungsgebieten einen überraschend ähnlichen Anteil von 85 - 88% am gesamten Primärenergieverbrauch auf, auch wenn die Zusammensetzung Betriebsenergie Gebäude/Mobilität in den verschiedenen Quartieren recht unterschiedlich ist.

Der **Anteil der Erstellung, Erneuerung und Abbruch der Gebäude** am Primärenergieverbrauch ist bei der aktuellen Verbrauchsstruktur vergleichsweise gering (9 - 13%), derjenige der **Infrastruktur** sehr gering (2 - 3%).

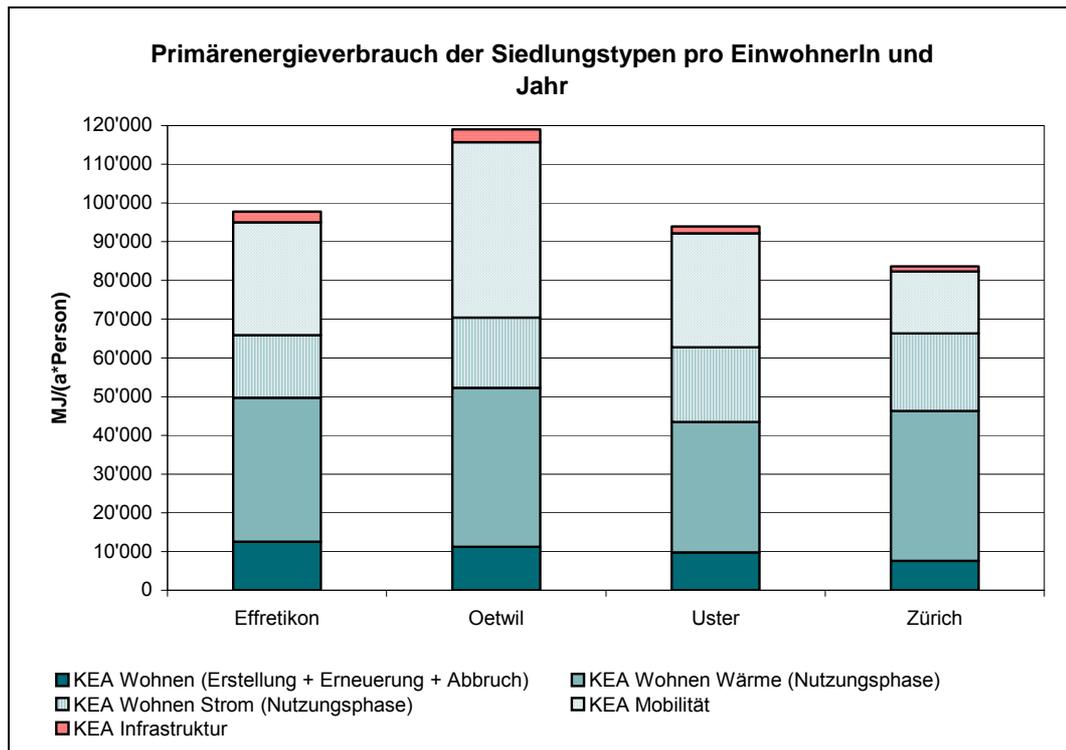


Figur 23: Gesamter Primärenergieverbrauch pro Quadratmeter BGF und Jahr in den vier Untersuchungsgebieten.

Der Primärenergieverbrauch in den Untersuchungsgebieten **pro Quadratmeter BGF** (vgl. Figur 23) ist in Effretikon und Oetwil am See am grössten. Der Verbrauch pro Quadratmeter ist in Uster deutlich kleiner und in Zürich am geringsten. Der vergleichsweise hohe spezifische Verbrauch pro m² BGF für die Gebäudeerstellung und in der Nutzungsphase in Effretikon kann mit der Bauweise und der Bauperiode erklärt werden (fast alle Wohngebäude im Untersuchungsperimeter wurden im gleichen Zeitraum erstellt (1976 - 1980) und weisen deswegen einen hohen Betriebsenergieverbrauch auf (vgl. Figur 12 und Tabelle 5).

Der Primärenergieverbrauch **pro EinwohnerIn** (vgl. Figur 24) ist in Oetwil am See am höchsten. Durch die hohe Belegungsdichte im Untersuchungsgebiet ergibt sich in Effretikon im Vergleich zu Oetwil am See ein deutlich geringerer Primärenergieverbrauch pro Person (trotz hohem Betriebsenergieverbrauch pro m²); er liegt in einer ähnlichen Grössenordnung wie diejenigen in Uster und Zürich. Das Untersuchungsgebiet in Zürich hat auch pro EinwohnerIn den geringsten Primärenergieverbrauch. Ohne die Mobilität unterscheidet sich der Primärenergieverbrauch pro EinwohnerIn in den Untersuchungsgebieten nicht mehr so stark (64'600 MJ/EinwohnerIn bis 73'700 MJ/EinwohnerIn).

In Zürich entsteht der meiste Primärenergieverbrauch durch die Nutzungsphase der Gebäude (vgl. Figur 23 und Figur 24), während in Oetwil am See die Mobilität eine ähnliche Bedeutung für den Primärenergieverbrauch hat, wie die Nutzungsphase der Gebäude. In Effretikon und Uster liegen die Anteile der Mobilität am Primärenergieverbrauch zwischen denjenigen in Zürich und Oetwil am See.



Figur 24: Gesamter Primärenergieverbrauch pro EinwohnerIn und Jahr in den vier Untersuchungsgebieten.

Durch die Betrachtung des Primärenergieverbrauchs erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger ergeben sich teilweise hohe Primärenergieverbrauchswerte (bei der Primärenergie werden auch die zur Erzeugung der Endenergie benötigten Energieaufwendungen berücksichtigt, was bei der Elektrizität am stärksten ins Gewicht fällt). Einen kleineren Einfluss auf die Höhe des Primärenergieverbrauchs hat der Einbezug des Verbrauchs erneuerbarer Energieträger, welche vor allem beim Primärenergieverbrauch der Gebäude während der Nutzungsphase (via Elektrizität) und bei der Erstellung und Erneuerung (via Einsatz von Bauholz) bedeutsam sind.

Mit der Wahl der erneuerbaren und der nicht-erneuerbaren Primärenergie als Vergleichsgrösse des Energieverbrauchs der verschiedenen Siedlungstypen wird

der Fokus auf alle eingesetzten Energieträger gesetzt. Dies ist vor dem Hintergrund sinnvoll, dass bereits heute einige erneuerbaren Energieträger nahe ihrem ökologischen Limit genutzt werden (Wasserkraft) respektive, dass mit der Erreichung eines solchen Limits mittelfristig gerechnet werden muss (Holzenergie, Bauholz). Durch den Einbezug der erneuerbaren Energieträger zeigt sich, bei welchen Arten wohnungsinduzierten Energieverbrauchs insgesamt die grössten Effizienz- und/oder Suffizienzpotenziale liegen.

7 Folgerungen

Der Primärenergieverbrauch während der Nutzungsphase der Gebäude (Betriebsenergie) und für die wohnungsinduzierte Mobilität dominiert.

Beim siedlungsabhängigen Primärenergieverbrauch pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche sind der Einfluss der Gebäude während der Nutzungsphase (Anteil 49 - 69%) und derjenige der wohnungsabhängigen Mobilität (Anteil 20 - 38%) bei der zurzeit vorhandenen Bauweise und Siedlungsstruktur dominant. Der Primärenergieverbrauch für die Erstellung, Erneuerung und den Abbruch der Gebäude sowie der Primärenergieverbrauch für die Erschliessungs-, Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen fallen zurzeit mit einem Anteil von 9 - 13% bzw. von 2 - 3% relativ wenig ins Gewicht.

Die Höhe des Primärenergieverbrauchs der Gebäude während der Nutzungsphase ist in erster Linie von der Wärmedämmung und somit indirekt vom Baujahr der Gebäude sowie vom Jahr bzw. dem Standard ihrer energetischen Erneuerung sowie vom eingesetzten Energieträgermix abhängig.²⁸

Der Elektrizitätsverbrauch für Geräte und Beleuchtung hat einen wesentlichen Einfluss auf den gesamten Primärenergieverbrauch der Gebäude während der Nutzungsphase (Anteil am Primärenergieverbrauch der Gebäude in der Nutzungsphase: 25 - 27%).

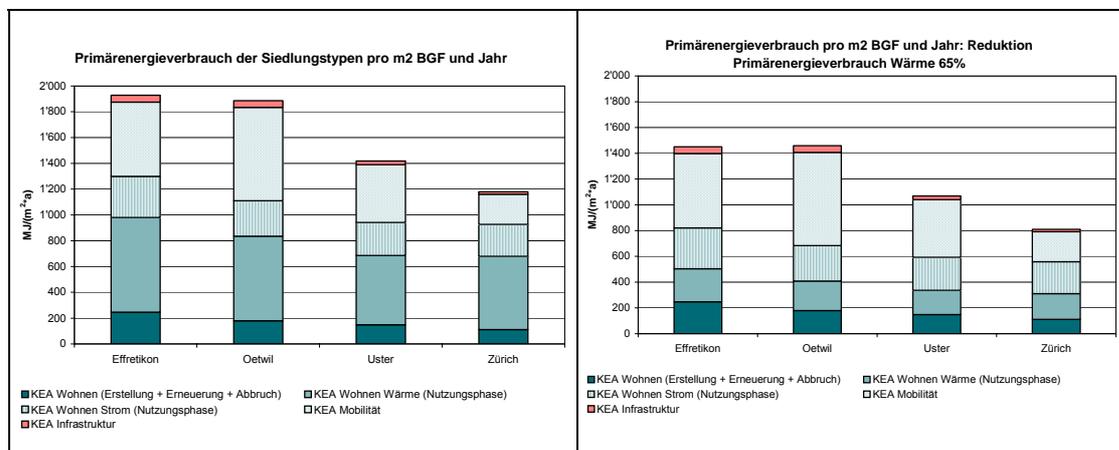
Alle vier Untersuchungsgebiete sind topologisch relativ eben. Es kann angenommen werden, dass in Gebieten mit vielen Hanglagen, wie etwa Bergregionen, der Energieverbrauch für Wohnen höher sein wird, da mit grösseren energetischen Aufwendungen bei den Gebäuden, bei der Infrastruktur und bei der Mobilität zu rechnen ist.

Falls der Wärmeschutzstandard im Rahmen von Gebäudeerneuerungen in der Zukunft stark verbessert wird und falls vermehrt erneuerbare Energien eingesetzt werden, verändern sich die Verhältnisse der einzelnen Elemente des Gesamtprimärenergieverbrauches wesentlich: Der Primärenergieverbrauch für Wärme sinkt beispielsweise beim Minergiestandard um gut 65% gegenüber dem Standard vor 1980. Der Primärenergieverbrauch für Erstellung, Erneuerung und Abbruch ist danach nicht mehr viel geringer als der Primärenergieverbrauch für die Wärmeerzeugung, s. unten, Figur 25. Damit stellt sich dann verstärkt die Frage

²⁸ Dies ergibt sich aus der hier angewandten Methodik: Weil zum Betriebsenergieverbrauch in der Nutzungsphase keine Verbrauchsdaten pro untersuchtes Gebäude vorliegen, wurde der Verbrauch über das Baujahr und den dafür geltenden energetischen Standard und über den durchschnittlichen Energieträgermix je Gemeinde geschätzt.

nach der optimalen Strategie von weitergehenden, d.h. über den Minergie Standard hinausgehenden, Effizienzmassnahmen. Insbesondere wird dann die Zweckmässigkeit von nochmals weitergehenden Wärmeschutzmassnahmen mit zunehmendem Verbrauch grauer Energie und Fläche an den Möglichkeiten von Stromeffizienzmassnahmen und dem Einsatz erneuerbarer Energien zu messen sein.

Da damit zu rechnen ist, dass der Strom-Endenergieverbrauch im Haushalt für Geräte und Beleuchtung weniger stark zurückgehen wird, erhält der Haushaltsstromverbrauch bei weitergehenden künftigen Primärenergie-Reduktionsmassnahmen einen hohen Stellenwert (gilt übrigens noch stärker für die Mobilität, s. Figur 25).



Figur 25 Vergleich des gesamten Primärenergieverbrauches pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche und Jahr. **Linke Figur:** Heutige Situation in den Quartieren gemäss Figur 23. **Rechte Figur:** Situation mit einem gegenüber heute um 65% reduzierten Primärenergieverbrauch für Wärme.

Der graue Energieverbrauch von Wohnbauten ist vorläufig im Vergleich mit dem Energieverbrauch in der Nutzungsphase von untergeordneter Bedeutung – heute zählt der energetische Standard.

Es zeigt sich beim grauen Energieverbrauch von Gebäuden nur eine begrenzte Abhängigkeit von siedlungsspezifischen Merkmalen. Diese besteht noch am stärksten beim Gebäudetyp und dem davon abhängigen KEA für Erstellung, Erneuerung und Abbruch. Da in den städtischen Untersuchungsgebieten mehr MFH gebaut werden, ist der KEA für Erstellung, Erneuerung und Abbruch hier etwas geringer. Solange der Betriebsenergieverbrauch jedoch dermassen dominiert, kommt dem von der Bauweise abhängigen KEA für die Gebäudeerstellung, dem Unterhalt und dem Abbruch eine relativ geringe Bedeutung zu. Wird jedoch angenommen, dass in Zukunft der Gebäudebestand energetisch massiv verbes-

sert wird, d.h. dass der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser von heute 500 - 700 MJ/m²a (nicht erneuerte Gebäude, älter als 1990) auf 100 - 160 MJ/m²a zurückgeht, dann geht der Primärenergieverbrauch in der Nutzungsphase von 790 - 1'050 MJ/m² a um etwa 43 - 45% auf 450 - 570 MJ/m² a zurück. Danach erreicht der KEA für die Gebäudeerstellung, den Unterhalt und den Abbruch 25 - 43% des KEA für Gebäude in der Nutzungsphase bzw. 56 - 96% des KEA für Gebäudewärme und wird für weitere Optimierungen relevant (vgl. Figur 25).

Auch bei der Mobilität zählt primär der Energieverbrauch in der Nutzungsphase – bei der wohnungsinduzierten Mobilität sind der Einfluss der Siedlungsstruktur, der Lage der Gemeinde und des ÖV-Angebotes zentral.

Bei der wohnungsabhängigen Mobilität, als weitere wichtige Ursache für den siedlungsspezifischen Primärenergieverbrauch, ist vor allem die Nutzungsphase von Bedeutung. Hier sind die Anzahl der Etappen pro EinwohnerIn, die Etappenlängen und der Modalsplit siedlungsspezifische Variablen, die einen starken Einfluss auf die Höhe des mobilitätsbedingten Primärenergieverbrauchs in Siedlungen haben. Aufgrund des gewählten Ansatzes bei der Analyse der wohnungsinduzierten Mobilität gelten diese Aussagen auf Gemeindeebene für die Gemeinde bzw. den jeweiligen Gemeindetypus zu dem das analysierte Quartier gehört und sind nicht spezifisch für die vier betrachteten Untersuchungsgebiete.

Je zentraler eine Siedlung liegt, desto kürzer werden tendenziell die Etappen der dort wohnenden Bevölkerung, desto höher wird der Anteil der Langsamverkehrsetappen, desto besser wird in der Regel das ÖV-Angebot und der ÖV-Modalsplit und desto weniger wird der MIV genutzt, was zu einer Senkung des Primärenergieverbrauchs der Wohnbevölkerung für Mobilität führt. Die Bedeutung des Siedlungs- oder Gemeindetyps für den Primärenergieverbrauch der wohnungsinduzierten Mobilität ist beeindruckend, die Unterschiede sind grösser als ein Faktor 4. Erwartungsgemäss ist der Primärenergieverbrauch von EinwohnerInnen von Kernstädten wie Zürich (ARE 1) mit 11'800 MJ/a pro Person am geringsten. Der schweizerische Durchschnitt beträgt 28'900 MJ/a pro Person, Uster (ARE 2) hat 21'800 MJ/a pro Person, Effretikon (ARE 3) 21'000 MJ/a pro Person und Oetwil am See (ARE 9) hohe 34'800 MJ/a pro Person.

Die Analyse der Unterschiede zwischen den 13 ARE-Gemeindetypen zeigt, dass die Unterschiede bezüglich der Anzahl Etappen am geringsten und bezüglich der Durchschnittslänge der Etappen am grössten sind. Auch die Unterschiede im Modal Split sind systematisch und relativ stark ausgeprägt. Der wesentlich höhere wohnungsabhängige Verkehrsenergieverbrauch in touristischen Gemeinden ist aber in erster Linie auf die durchschnittlichen Fahrdistanzen - und zwar vorab

im Pendler-, Einkaufs- und Freizeitverkehr - zurückzuführen. Diese drei Verkehrsarten sind auch für den Grossteil der Unterschiede zwischen allen 13 Gemeindetypen verantwortlich.

Der Anteil des KEA für Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge am gesamten KEA der Mobilität liegt zwischen 23% und 28%. Er hat somit einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Primärenergieverbrauch der wohnungsabhängigen Mobilität.

Der Primärenergieaufwand für Gebäudeerstellung, -erneuerung, -abbruch wie auch der der Primärenergieaufwand für die Erschliessungs-, Versorgungs- und Entsorgungsinfrastrukturen sind von der Überbauungsdichte abhängig. Die Bedeutung der Erschliessungs-, Versorgungs- und Entsorgungsinfrastrukturen ist jedoch relativ gering.

Bei der gebäudegebundenen Infrastruktur konnte der aus der Literatur bekannte Zusammenhang zwischen Geschossflächenziffer (GFZ) und Energieaufwand für die Infrastruktur bestätigt werden (Schiller 2004). Allerdings ist der Beitrag der Infrastruktur zum gesamten wohnungsabhängigen Primärenergieverbrauch mit maximal 3% klein.

Die Betrachtungen des siedlungsspezifischen Primärenergieverbrauchs pro Quadratmeter BGF und pro EinwohnerIn zeigen, dass ein hoher Verbrauch pro Quadratmeter durch eine hohe Belegungsdichte der Wohnungen (BGF pro BewohnerIn) relativiert werden kann. Dies zeigt sich beim Energieverbrauch im Untersuchungsgebiet in Effretikon, welches hohe Verbrauchswerte pro Quadratmeter BGF, aber relativ geringe pro EinwohnerIn aufweist. Umgekehrt schneidet das Untersuchungsgebiet in Zürich bei der Betrachtung des Energieverbrauchs pro EinwohnerIn wegen einer geringen Belegungsdichte etwas schlechter ab als bei der Betrachtung pro Quadratmeter.

Die Höhe des Primärenergieverbrauchs in den vier Untersuchungsgebieten korreliert in etwa mit ihrer jeweiligen GFZ. Es besteht jedoch kein direkter Zusammenhang zwischen GFZ und Primärenergieverbrauch, da der Primärenergieverbrauch in erster Linie durch die Mobilität und die Nutzungsphase der Gebäude bestimmt wird. Bei den Gebäuden kommt es primär auf den energetischen Standard an, erst sekundär spielt die Bebauungsart eine Rolle, die allerdings nicht zu vernachlässigen ist. Kompakte und dichte Bebauungen sind eine Voraussetzung für grosse Energieverbrauchssenkungen. Bei der Mobilität spielen das ÖV-Angebot und die Attraktivität der LV-Wege eine wichtige Rolle. Dichte Bebauung erleichtert die Bereitstellung eines guten ÖV-Angebotes und schafft damit Voraussetzungen für einen hohen ÖV-Modalsplit.

Die grossen Potenziale zur Reduktion des siedlungsabhängigen Primärenergieverbrauchs, liegen damit zurzeit im Bereich der Energieeffizienz bei Gebäuden und beim Stromverbrauch während der Nutzungsphase sowie bei der wohnungsabhängigen Mobilität. Insbesondere der Umfang des Primärenergieverbrauchs für die Mobilität ist von den Siedlungsstrukturen und von der Verkehrserschliessung abhängig und über die Raumplanung beeinflussbar.

Abkürzungsverzeichnis

A	Zahl der Arbeitsplätze
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich
CAD-Auswertung	Auswertung mit Computerprogramm: Computer Aided Design
DLG	Dienstleistungsbauten
BGF	Bruttogeschossfläche
BZ	Betriebzählung
E	Einwohner-/Bevölkerungszahl
EBF	Energiebezugsfläche
EEV	Endenergieverbrauch
EFH	Einfamilienhaus
EKZ	Energiekennzahl
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
GF	Geschossfläche
GFD	Geschossflächendichte (Deutschland)
GFZ	Geschossflächenziffer
GHZ	Gebäudehüllziffer
HSR	Hochschule Rapperswil
IV	Individualverkehr
IVT	Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
KEA	kumulierter Energieaufwand
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LV	Langsamverkehr
MFH	Mehrfamilienhaus
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MZ	Mikrozensus
PEV	Primärenergieverbrauch
ÖV	Öffentlicher Verkehr
Q	Einwohneräquivalente: $Q = E + A$
SVGW	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
UG	Untergeschosse
UNB	Unterniveaubauten
VZ	Volkszählung
WVEV	wohnungsabhängiger Verkehrs-Endenergieverbrauch

Literatur

- ARE 2000:** Raumstruktur und Mobilität von Personen. Unterstützung nachhaltiger Mobilitätsstile durch Raumplanung. Argumentarium und Ergebnisse einer Sonderauswertung des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2000, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern, 2000
- ARE 2002:** Szenarien über die räumliche Entwicklung der Schweiz 2000-2030, Teilbericht Raumtypologie, Unveröffentlichtes Manuskript, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern 2002.
- ARE/BFS 2002:** Mobilität in der Schweiz. Erste Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten, Bern 2002
- Arend 2006:** Arend M.: Energieaspekte städtischer Siedlungen - Wohnungsabhängiger Verkehr in verschiedenen Gemeinde- und Siedlungstypen und sein Energieverbrauch anhand der Daten aus dem Mikrozensus *Verkehrsverhalten 2000*; Teilbericht Mobilität des Projektes 'Energieaspekte städtischer und ländlicher Siedlungen', **e c o n c e p t**, Zürich 2006
- AWEL 2003:** Energieplanungsbericht 2002 für den Kanton Zürich, Bericht des Regierungsrates über die Energieplanung (RRB Nr. 460 vom 2. April 2003), AWEL, Abteilung Energie, März 2003
- AWEL 2007a:** Gemeindedatenblätter, Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Energie, Zürich 2007
- AWEL 2007b:** Energieverbrauch in Siedlungen: Energieverbrauch von Infrastruktur, Verkehr und Gebäude pro Quadratmeter Energiebezugsfläche in unterschiedlichen Siedlungstypen, Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Energie, Zürich 2007
- AWEL 2007c:** Anleitung zur Analyse des Energieverbrauchs in Abwasserreinigungsanlagen des Kantons Zürich, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, Sektion Abwasserreinigungsanlagen, Zürich 2007
- BFE 2007a:** Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990 - 2035, Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer, Prognos AG, Hofer et al., im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern, Mai 2007
- BFE 2007b:** Medienmitteilung BFE vom 27.6.2002; Internet [20.10.2007]: <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=1927>
- BFS 2006:** Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2006, Verlag Neue Zürcher Zeitung, 2006
- BUWAL/INFRAS 2000:** Aktualisierung der Emissions- und Verkehrsgrundlagen. Arbeitsunterlage Nr. 15, Bern, 2000

- Chalasanani V. S. 2005:** Enriching household travel Survey data: Experiences from the Microcensus 2000. Conference paper STRC (Swiss Transport Research Conference) 2005, IVT ETH Zürich, 2005
- Energie 2000 (1996):** Energieplan, Leitfaden, econcept AG für das Bundesamt für Energiewirtschaft im Rahmen von Energie 2000, Bern, 1996
- Frischknecht et al. 2003:** Frischknecht R., Hirschler R., Kellenberger D., ecoinvent-Datenbank, ecoinvent-Zentrum EMPA, Dübendorf 2003
- Frischknecht et al. 1996:** Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Dones R., Gantner U., Hirschler R. and Martin A. (1996) Ökoinventare von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 3. Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen, Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, 1996
- Frischknecht et al. 2007:** Auswertungen ESU-Services, Uster, 2007
- Gilgen/Beaujean 2007:** Gilgen K., Beaujean K., Energieaspekte städtischer und ländlicher Siedlungen – Quartiererhebungen, IRAP, Rapperswil, Januar 2007
- Infras 1995:** Ökoinventar Transporte, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und für den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen, Technischer Schlussbericht, Verlag INFRAS, 1. Auflage, 1995
- Joye D. et al. 1988:** Typologie der Gemeinden der Schweiz, Ein systematischer Ansatz nach dem Zentren-Peripherien-Modell, Statistischer Bericht Nr. 154, IREC-EPFL Lausanne, Bundesamt für Raumplanung und Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Bern, 1988
- Matasci 2006:** Life Cycle Assessment of 21 buildings: analysis of the different life phases and highlighting of the main causes of their impact on the environment, Master thesis of Cecilia Matasci, UNI Geneva and ETH Zürich, 2006
- Matasci 2007:** Von C. Matasci 2007 zur Verfügung gestellte Berechnungen zum KEA erneuerbar und nicht-erneuerbar im Rahmen der Arbeit Matasci 2006.
- Minergie 2007:** Zielwerte für Minergie-Neubauten, Internet [20.10.2007]: <http://www.minergie.ch/index.php?standards-3.0>
- MZ 2000:** Mobilität in der Schweiz. Erste Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) / Bundesamt für Statistik (BFS), Bern, 2002
- Schneider S. und Hopf S. 2006:** SIA-Effizienzpfad Energie, Statusbericht Mobilität, Grundlagen zur Dokumentation SIA D 0216. Zürich, 2006
- SIA d 0165:** Kennzahlen im Immobilienmanagement, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich, 2000

- Simma A., Hauri D. und Schlich R. 2002:** Beschreibung einer Datenbank zu den Schweizer Gemeinden, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 118, IVT, ETH Zürich, 2002
- SNARC 2004:** SNARC - Systematik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Architekturprojekten für den Bereich Umwelt, SIA Dokumentation 0200, SIA Zürich, 2004
- SVWG 2001:** Veröffentlichung Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVWG); Internet [05.10.2007]: www.trinkwasser.ch
- swisstopo 2007** Pixelkarte 1:200'000, Auftrags Nr.: K110-01-074933
- Tschopp M., Keller P. und Axhausen K.W. 2003:** Raumnutzung in der Schweiz: Eine historische Raumstruktur-Datenbank, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 165, IVT, ETH Zürich, 2003

Anhang

A-1 Definitionen

Gebäudehüllziffer (GHZ):

Die Gebäudehüllziffer ist ein Mass für die Kompaktheit eines Gebäudes und errechnet sich aus dem Quotienten aus Aussenfläche eines Gebäudes geteilt durch seine Energiebezugsfläche.

Gebäudedichte:

Die Gebäudedichte ist das Verhältnis aus dem Gewicht der gesamten Baustoffe eines Gebäudes pro Quadratmeter BGF des Gebäudes.

Gebäudeflächenparameter gemäss SIA (SIA d 0165):**Energiebezugsfläche (EBF):**

Die Summe aller ober- und unterirdischer Geschossflächen, für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist, inklusive begrenzender Wände und Brüstungen. (Auszuschliessen sind Räume für deren Nutzung ein Beheizen nicht notwendig ist, wie Wasch- und Trockenräume, Heizräume, Maschinenräume für Lift-, Belüftungs- und Klimaanlage, Räume für Brennstofflager, Einstellräume und Garagen, Abstellräume im Dach- und Untergeschoss).

Geschossfläche (GF):

Die allseitig umschlossene und überdeckte Grundrissfläche der zugänglichen Geschosse einschliesslich der Konstruktionsflächen (Wände, Pfeiler, etc.).

A-2 Berechnungsgrundlagen Mobilität

Verkehrsmittel	Endenergieverbrauch EEV [kWh/100km]	Primärenergieverbrauch PEV [kWh/100km]	Umrechnungsfaktor Primär-/Endenergie ⁵⁾	Mittlerer Besetzungsgrad ⁶⁾
Motorräder	40	54.4	1.36	1.15
Lastwagen	280	361	1.289	1.20
Busse	400	516	1.289	18.0
Auto	85	115 ¹⁾	1.353	1.59
Tram	250	726 ²⁾	2.905	28.0
Bahn, Züge	1000	1464 ³⁾	1.464	229.0
übrige Verkehrsmittel	500	750 ⁴⁾	1.5	10.0

1) Bei 10% Diesel-PW (Bestand 2005) mit 1,289 MJ_{primär}/MJ_{end} und 90% Benzin-PW mit 1,36 MJ_{primär}/MJ_{end} (Angaben ecoinvent 1.2)

2) Versorgungsmix CH ab Niederspannungsnetz (2,905 MJ_{primär}/MJ_{end})

3) 88% Wasserkraft (1,267 MJ_{primär}/MJ_{end}), 12% Versorgungsmix CH (2,905 MJ_{primär}/MJ_{end})

4) Annahme **e c o n c e p t**: 1,5 MJ_{primär}/MJ_{end}

5) Umrechnungsfaktoren Primärenergieverbrauch/Endenergieverbrauch: ecoinvent 1.2 und Frischknecht et al. 2007

6) Aus: Schneider Stefan, Hopf Simon, SIA Effizienzpfad Energie, Statusbericht Mobilität, Zürich 2006

Tabelle 13: Spezifische Endenergie- (EEV) und Primärenergieverbräuche (PEV) sowie durchschnittliche Besetzungsgrade einzelner Verkehrsmittel

Jährlicher Primärenergieverbrauch pro Person für den wohnungsabhängigen Verkehr (MJ/a)							
Gemeindetyp	Pendlerverkehr	Ausbildungsverkehr	Einkaufsverkehr	Freizeitverkehr	Berufsverkehr	Begleitverkehr	Alle Verkehrszwecke
Zürich (ARE1)	3'244	565	1'177	5'540	1'159	122	11'804
Uster (ARE2)	5'706	526	2'488	10'040	2'718	299	21'773
Effretikon (ARE3)	5'605	464	2'477	9'965	2'084	353	20'952
Oetwil am See (ARE9)	10'328	864	4'158	15'178	3'848	454	34'830

Tabelle 14: Jährlicher Primärenergieverbrauch für wohnungsabhängigen Verkehr in MJ/a pro Einwohner im Alter zwischen 15 und 80 Jahren in vier untersuchten Gemeindetypen.

A-3 Energieverbrauch des wohnungsabhängigen Verkehrs in verschiedenen Gemeindetypen

Entspricht grösstenteils dem früher erstellten Teilbericht "Energieaspekte städtischer Siedlungen - Wohnungsabhängiger Verkehr in verschiedenen Gemeinde- und Siedlungstypen und sein Energieverbrauch anhand der Daten aus dem Mikrozensus *Verkehrsverhalten 2000*" (Arend 2006).

A-3.1 Problem- bzw. Fragestellung

Das Gesamtprojekt "Energieaspekte städtischer Siedlungen" bezweckt, eine Analysemethode für den gesamten Primärenergieverbrauch von unterschiedlichen Arten von Wohnquartieren inkl. der zugehörigen Infrastrukturen zu entwickeln und bei vier unterschiedlichen Quartieren anzuwenden. Als ein Teil dieser Problem- bzw. Fragestellung sollen in diesem Bericht anhand von Daten des Mikrozensus "Verkehrsverhalten 2000" der wohnungsabhängige Verkehr und sein Energieverbrauch in verschiedenen Gemeinde- bzw. Siedlungstypen quantifiziert werden.

Eine zwar andere, aber mit dieser Problem- bzw. Fragestellung inhaltlich zusammenhängende Zielsetzung hatte die vor kurzem publizierte ARE-Studie "Raumstruktur und Mobilität von Personen. Unterstützung nachhaltiger Mobilitätsstile durch Raumplanung"²⁹, bei der ebenfalls die Daten des Mikrozensus "Verkehrsverhalten 2000" ausgewertet wurden. Die Resultate dieser Arbeit decken sich weitgehend mit den von uns errechneten Ergebnissen und auch die Interpretation und Erklärungen der Autoren für die vorgefundenen Unterschiede im Verkehrsverhalten der BewohnerInnen verschiedener Räume gehen in die gleiche Richtung.

²⁹ Siehe dazu: Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Raumstruktur und Mobilität von Personen. Unterstützung nachhaltiger Mobilitätsstile durch Raumplanung. Argumentarium und Ergebnisse einer Sonderauswertung des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2000, Bern

A-3.2 Mikrozensus 'Verkehrsverhalten 2000' und der gewählte Lösungsansatz

Seit 1974 werden in der Schweiz alle 5 Jahre unter dem Namen "Mikrozensus Verkehrsverhalten" (MZ) statistische Erhebungen zum Verkehrsverhalten der Bevölkerung durchgeführt. Im Jahr 2000 wurden 27'918 Haushalte bzw. 29'407 Einzelpersonen zu den Schwerpunkthemen Besitz von Fahrzeugen, Führerausweisen und Abonnements, tägliches Verkehrsaufkommen, Verkehrszwecke und Verkehrsmittelbenutzung, Reisen mit Übernachtungen und Flugreisen sowie zu ihren Einstellungen zur Verkehrspolitik der Schweiz befragt. Bei den Erhebungen wird die Tagesmobilität der befragten Personen in Etappen und Wege unterteilt.

Zur Ermittlung der Verkehrsaufkommen und -leistungen verschiedener Verkehrsmittel sind die Etappen wichtiger, weil sie jeweils ohne Fahrzeugwechsel mit einem einzigen Verkehrsmittel zurückgelegt werden. Jede Etappe hat eine Start- und Zieladresse, eine Dauer, eine Distanz, ein Verkehrsmittel und einen Zweck. Damit bestimmt werden kann, wie gross der Energieverbrauch während einer Etappe ist, muss auch der spezifische Energieverbrauch der benutzten Verkehrsmittel bekannt sein. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden bei der Ermittlung der Verkehrsaufkommen und der Energieverbräuche einzelner Wohn- und Siedlungstypen die folgenden 6 Schritte (siehe A-3.2.1 bis A-3.2.6) ausgeführt:

A-3.2.1 Plausibilisierung und Bereinigung des Etappendatensatzes aus dem MZ 2000

Weil der uns zur Verfügung gestellte BFS-MZ2000-Datensatz in einer ersten Überprüfung zu viele Fehler, fehlende Informationen und Inkonsistenzen aufwies, haben wir unsere Berechnungen mit dem verbesserten bzw. angereicherten Datensatz des IVT Institutes der ETH Zürich durchgeführt³⁰. Aber auch in diesem Datensatz fehlten bei einem Teil von Etappen vorhabensrelevante Angaben (z.B. über den Start- oder Zielort, Zweck oder Verkehrsmittel). Etappen mit unvollständigen Daten wurden bei unseren Berechnungen nicht berücksichtigt. Von den ursprünglich vorhandenen 276'297 Etappen des IVT-MZ 2000 Datensatzes enthalten aber doch 272'268 Etappen (98.5%) alle für die Auswertungen benötigten Angaben.

³⁰ Wir danken dem IVT-Institut für die Bereitstellung der Daten und den Instituts-Mitarbeitern M. Tschopp und S. Chalasani für die Beratung bei deren Anwendung.

A-3.2.2 Definition und Auswahl wohnungsabhängiger Etappen

Zum "wohnungsabhängigen Verkehr" wurden von uns alle Etappen gezählt, die ihre Start- oder Zieladresse in der Wohngemeinde des Befragten hatten. Diese tendenziell leicht überschätzende Definition musste gewählt werden, weil bei der Erfassung der genauen Start- und Zieladressen inkl. Strassennamen und -nummern sehr viele Fehler gemacht wurden, so dass bei einem Abgleich sehr viele wohnungsbezogene Etappen nicht als solche erkannt worden wären. Von den 272'268 Etappen mit kompletten vorhabensrelevanten Angaben wurden anhand dieser Definition 220'197 (80.8%) Etappen als "wohnungsabhängig" gezählt und bei den weiteren Berechnungen berücksichtigt. Die übrigen am Stichtag erfassten Etappen hatten keinen Bezug zum Wohnort und wurden sogar teilweise im Ausland zurückgelegt.

A-3.2.3 Zuordnung der wohnungsabhängigen Etappen zu den verschiedenen Gemeindetypen

Das Ziel des dritten Arbeitsschrittes bestand darin, die wohnungsabhängigen Etappen den verschiedenen Gemeinde- bzw. Siedlungstypen zuzuordnen. In der Schweiz werden drei miteinander verwandte Gemeindetypologien verwendet: die BFS-Gemeindetypologien mit 9 bzw. 22 verschiedenen Gemeindeklassen und die hauptsächlich am IVT gebräuchliche ARE-Gemeinde- bzw. Raumtypologie mit 13 verschiedenen Raum- bzw. Gemeindetypen.

Für die Zwecke des vorliegenden Projektes erscheint die mittlere Anzahl von 13 verschiedenen Gemeinde- bzw. Raumtypen am zweckmässigsten. Sie wurde ausdrücklich hinsichtlich der Verkehrsgesetzmässigkeiten erstellt und wird auch "verkehrsliche Raumgliederung" genannt³¹.

Ein kurzer Beschrieb der 13 Gemeindetypen folgt in A-3.3

A-3.2.4 Festlegung der spezifischen Energieverbräuche und durchschnittlichen Besetzungsgrade bei den einzelnen Verkehrsmitteln

Bei der Berechnung der Energieverbräuche wurden die Angaben zum spezifischen Energieverbrauch und zu den durchschnittlichen Besetzungsgraden einzelner Verkehrsmittel verwendet. Die Daten zum spezifischen Energieverbrauch

³¹ Siehe dazu auch: Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Szenarien über die räumliche Entwicklung der Schweiz 2000-2030, Teilbericht Raumtypologie, Unveröffentlichtes Manuskript, Bern 2002

stammen von M. Keller, INFRAS Bern, der entsprechende Zahlen für mehrere Bundesämter berechnet hat.³² Die Daten über die durchschnittlichen Besetzungsgrade haben wir der Publikation von (Schneider St., Hopf S., 2006) entnommen³³ und die Umrechnungsfaktoren Primärenergieverbrauch/Endenergieverbrauch stammen aus ecoinvent 1.2 (Frischknecht et al. 2003).

Ergebnisse s. Tabelle 13.

A-3.2.5 Berechnung wohnungsabhängiger Verkehre und ihrer Energieverbräuche

Die jährlichen wohnungsabhängigen Verkehrs-Endenergieverbräuche (WVEV) einzelner Raum- bzw. Gemeindetypen wurden nach der folgenden Formel berechnet:

Wohnungsabhängiger Endenergieverbrauch Verkehr = Anzahl Etappen am Stichtag x durchschnittliche Etappenlänge x spezifischer Energieverbrauch des jeweiligen Verkehrsmittels x raumtypus- und verkehrszweckspezifischer Gewichtungsfaktor x raumspezifischer Expansionsfaktor x 365 (Umrechnung vom Tag auf Jahr) / durchschnittliche Besetzungsgrade der jeweiligen Fahrzeuge.

Zur Berechnung der entsprechenden Primärenergieverbräuche müssen die Endenergieverbräuche zusätzlich mit dem Umrechnungsfaktor PEV/EEV aus Tabelle 13 multipliziert werden.

A-3.2.6 Plausibilisierung der errechneten Resultate

Um auszuschliessen, dass bei der Bestimmung der wohnungsabhängigen Verkehre und bei der Berechnung ihrer Energieverbräuche logische Fehler passiert sind, wurde der errechnete Wert für den gesamtschweizerischen Energieverbrauch im Verkehr mit Hilfe eines Vergleichs zu der bereits zitierten Publikation von Schneider und Hopf (2006)³⁴ plausibilisiert.

³² Wir danken M. Keller für die kollegiale Unterstützung und die Lieferung dieser Daten.

³³ Schneider Stefan und Hopf Simon, SIA Effizienzpfad Energie, Statusbericht Mobilität, Zürich 2006

³⁴ ebda.

A-3.3 Die verwendete Siedlungs- bzw. Gemeindetypologie

Alle in der Schweiz gebräuchlichen Gemeindetypologien stützen sich auf Zentrum-Peripherie-Modelle, welche funktionale Beziehungen und Verflechtungen zwischen den Gemeinden sowie demografische, sozioökonomische, wirtschaftliche und raumplanerische Belange berücksichtigen. In der vorliegenden Arbeit wird eine ARE-Gemeindetypologie aus dem Jahre 2002 verwendet. Sie umfasst 13 Gemeindetypen, von denen die ersten sieben in städtischen und die anderen sechs in ländlichen Gebieten zu lokalisieren sind. Ihre wichtigen spezifischen Merkmale und Eigenschaften werden in der Folge aufgezählt und sind auch aus der Tabelle 15 ersichtlich:

ARE1 "Grosszentren"

Dazugehörige Gemeinden: Basel, Bern, Genève, Lausanne, Lugano, Luzern, St. Gallen, Winterthur, **Zürich**

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Gemeinden mit unbestrittenen zentralen Funktionen und mehr als 100'000 Einwohnern. Wenig Kinder und viele hochbetagte Menschen, sehr hoher Anteil der Einzelhaushalte, sehr wenige Arbeitsplätze im 1. und sehr viele im 3. Sektor, viele Detailhandels-Geschäfte und Beschäftigte (gute lokale Einkaufsmöglichkeiten), wesentlich mehr Beschäftigte als BewohnerInnen (=> Zupendlergemeinden), sehr hohe Siedlungsdichte, viele Sportstätten und Kulturinstitutionen (=> gutes lokales Freizeitangebot), beste Erreichbarkeit und vergleichsweise wenige Personenwagen.

ARE2 "Nebenzentren der Grosszentren"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Allschwil, Pratteln, Köniz, Morges, Emmen, Gossau, Bülach, **Uster**, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Wenig Arbeitsplätze im 1. und viele Arbeitsplätze im 3. Sektor, hohe Siedlungsdichte, gute Erreichbarkeit sowohl im öffentlichen wie auch im privaten Verkehr.

ARE3 "Innerer Gürtel der Grosszentren-Agglo."

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Affoltern am Albis, Adliswil, Meilen, Ostermundigen, Hergiswil, Arlesheim, Ecublens, **Effretikon**, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: mehr BewohnerInnen als Beschäftigte (=> Wegpendlergemeinden), mittlere IV- und ÖV-Erreichbarkeit.

ARE4 "Äusserer Gürtel der Grosszentren -Agglo."

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Bonstetten, Egg, Seuzach, Bolligen, Adligenswil, Unterlunkhofen, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Wenig Einzel- und viele Familienhaushalte, Kinder und wenig betagte bzw. hochbetagte Menschen (=> "junge" Gemeinden), wesentlich mehr BewohnerInnen als Arbeitsplätze (=> Wegpendlergemeinden), wenige Detailhandelsgeschäfte und -beschäftigte (=schlechte lokale Einkaufsmöglichkeiten), kleinere Siedlungsdichte, mittlere IV- und Öv-Erreichbarkeit.

ARE5 "Mittelzentren"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Aarau, Baden, Bellinzona, Biel, Burgdorf, Fribourg, Schaffhausen, Thun, Yverdon, Zofingen, Zug, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Mittलगrosse Städte mit 25'000-100'000 Einwohner und meistens Zentren des gleichnamigen Regionstyps. Wenig Arbeitsplätze im 1. Sektor, sehr gute lokalen Detailhandeleinkaufsmöglichkeiten, gutes lokales Kulturangebot, sehr gute IV- und gute ÖV-Erreichbarkeit.

ARE6 "Innerer Gürtel der weiteren Agglomeration"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Feuerthalen, Kirchberg (BE), Buochs, Stansstad, Schönenwerd, Jona, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Mehr Familien- und weniger Einpersonenhaushalte, etwas mehr BewohnerInnen als Beschäftigte, mehr industrielle und weniger tertiäre Arbeitsplätze, unterdurchschnittliche Siedlungsdichte, gute IV- und mittlere ÖV-Erreichbarkeit

ARE7 "Äusserer Gürtel der weiteren Agglomeration"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Dachsen, Hinwil, Spiez, Lachen, Villars sur Glane, Lostorf, Biberist, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Mehr Kinder und Familienhaushalte, weniger ältere Personen und Singlehaushalte, deutlich mehr BewohnerInnen als Arbeitsplätze (=>Wegpendlergemeinden), überdurchschnittlich viele Industrie- und unterdurchschnittlich viele Dienstleistungsarbeitsplätze, schlechte lokale Detailhandel-Einkaufsmöglichkeiten, unterdurchschnittliche Siedlungsdichte und überdurchschnittlich viel Siedlungsfläche pro Einwohner, eher schlechte IV- und ÖV-Erreichbarkeit.

ARE8 "Kleinzentren"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Rüti, Langenthal, Langnau im Emmental, Altdorf, Romont, Ilanz, Délemont, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Überdurchschnittlich viele Industrie- und unterdurchschnittlich viele Dienstleistungsarbeitsplätze, gute lokale Detailhandel-Einkaufsmöglichkeiten, gute IV- und eher schlechte ÖV-Erreichbarkeit

ARE9 "Nichtstädtische Wegpendlergemeinden"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Eglisau, **Oetwil am See**, Aarwangen, Hagenbuch, Röschenz, Endingen, Visperterminen,

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Sehr viele Familienhaushalte mit Kindern, weniger Betagte und ältere Personen, ein starkes Missverhältnis zwischen BewohnerInnen- und Arbeitsplatzzahl (=> deutlich ausgeprägte Wegpendlergemeinden), viele Arbeitsplätze im 1. und 2. und weniger Arbeitsplätze im 3. Sektor, schlechte lokale Detailhandel-Einkaufsmöglichkeiten, geringe Siedlungsdichte, mittlere IV- und schlechte ÖV-Erreichbarkeit.

ARE10 "Industrielle und tertiäre Gemeinden"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Wald, Tramelan, Konolofingen, Wimmis, Dagmersellen, Alpnach, Enenda, Schiers, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Wenig Einpersonenhaushalte und viele Familienhaushalte, überdurchschnittlich viele Arbeitsplätze im 1. und 2. Sektor geringe Siedlungsdichte, mittlere IV- und schlechte ÖV-Erreichbarkeit.

ARE11 "Semiagrarische Gemeinden"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Maschwanden, Madiswil, Wynigen, Saxeten, Huttwil, Fisibach, Lugnez, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Viele Familienhaushalte mit Kindern, weniger Einzelhaushalte, ältere und betagte Menschen, ein starkes Missverhältnis zwischen BewohnerInnen- und Arbeitsplatzzahl (=> deutlich ausgeprägte Wegpendlergemeinden), wesentlich mehr Beschäftigte im 1. und weniger im 3. Sektor, sehr schlechte lokale Einkaufsmöglichkeiten, geringe Siedlungsdichte und grosse Siedlungsfläche pro Einwohner, schlechte IV- und ÖV-Erreichbarkeit.

ARE12 "Agrarische Gemeinden"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Heimiswil, Trachselwald, Linthal, Flerden, Vicosoprano, Bosco Gurin, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Viele Familienhaushalte mit Kindern, wenige Einpersonenhaushalte, ein extremes Missverhältnis zwischen BewohnerInnen- und Arbeitsplatzzahl (=> extrem ausgeprägte Wegpendlergemeinden), wesentlich mehr Beschäftigte im 1. und weniger im 3. Sektor, sehr schlechte lokale Einkaufsmöglichkeiten, geringe Siedlungsdichte und grosse Siedlungsfläche pro Einwohner, schlechte IV- und ÖV-Erreichbarkeit.

ARE13 "Touristische Gemeinden"

Beispiele dazugehöriger Gemeinden: Adelboden, Kandersteg, Andermatt, Engelberg, Flums, Scuol, Leukerbad, Zermatt, ...

Spezifische Merkmale und Eigenschaften dieses Gemeindetypus: Mehr Arbeitsplätze im 1. Sektor und weniger im 2. Sektor, gute lokalen Einkaufsmöglichkeiten, auch ansonsten wie Zentren (ARE1 und ARE5), aber mit wesentlich geringerer Siedlungsdichte und mit mehr Siedlungsfläche pro Einwohner.

	ARE1: Grosszentren	ARE2: Nebenzentren d. Grosszentren	ARE3: Inn. Gürtel d. Aggl. d. Grosszent.	A4: Äuss. Gürtel d. Aggl. d. Grosszent.	ARE5: Mittelzentren	ARE6: Inn. Gürtel der weiteren Aggl.	ARE7: Auss. Gürtel der weiteren Aggl.	ARE8: Kleinzentren	A9: Nichtstädt. Wegendlergemeind.	A10: Industrielle und tertiäre Gemeind.	ARE11: Semiagrarische Gemeinden	ARE12: Agrarische Gemeinden	ARE13: Touristische Gemeinden	Schweiz insgesamt
Anzahl Gemeinden	9	33	190	209	43	128	362	49	508	353	549	335	128	2'896
BewohnerInnen insg.	1'210'521	600'489	921'137	354'825	753'676	505'461	709'736	341'305	463'304	685'838	497'592	109'510	177'990	7'331'384
durchschnittliche Gemeindegrösse (Einw.)	134'502	18'197	4'848	1'698	17'527	3'949	1'961	6'965	912	1'943	906	327	1'391	2'532
Anteil BewohnerInnen 0-15	12.8	16.4	17.0	19.1	15.4	17.6	19.0	17.8	21.3	20.1	22.8	26.1	17.5	17.6
Anteil BewohnerInnen 16-64	68.9	69.2	68.7	68.8	67.1	67.7	67.7	66.1	65.6	64.7	63.1	57.7	66.8	67.2
Anteil BewohnerInnen 65-80	12.7	11.0	10.9	9.4	12.5	10.9	10.2	11.5	9.9	10.8	10.4	12.1	11.7	11.2
Anteil BewohnerInnen 80+	5.6	3.4	3.4	2.7	5.0	3.8	3.2	4.5	3.2	4.3	3.7	4.1	4.0	4.1
Anzahl Privathaushalte	609'157	265'165	393'742	141'073	341'124	211'649	283'673	141'281	175'783	263'113	180'943	37'803	70'893	3'115'399
%-Anteil Einpersonenhaushalte	50.0	36.6	33.7	27.0	40.6	32.4	29.4	34.4	26.7	30.0	26.7	27.3	35.4	36.0
%-Anteil Haushalte mit Kind(ern)	22.8	33.0	35.0	40.0	30.4	36.2	39.2	36.2	41.9	40.0	42.6	41.4	34.8	34.0
Anzahl Beschäftigte (1998)	1'986'524	676'628	653'486	163'772	1'054'884	393'436	445'834	379'030	218'996	529'370	240'518	34'338	164'174	6'940'990
Verhältnis BewohnerInnen/Beschäftigte	0.6	0.9	1.4	2.2	0.7	1.3	1.6	0.9	2.1	1.3	2.1	3.2	1.1	1.1
%-Anteil Arbeitsplätze im 1. Sektor	0.8	1.6	2.0	4.1	1.5	2.5	3.6	3.8	7.1	5.3	13.6	24.9	5.9	3.9
%-Anteil Arbeitsplätze im 2. Sektor	16.2	24.2	19.8	22.2	28.8	31.4	31.0	32.8	31.7	35.1	29.7	26.2	20.9	26.1
%-Anteil Arbeitsplätze im 3. Sektor	83.0	74.3	78.2	73.6	69.7	66.1	65.3	63.4	61.2	59.5	56.7	48.9	73.2	70.0
Anz. Detailhandelsgeschäfte/1000 Einw.	10.8	6.5	5.2	4.1	12.1	6.0	5.0	11.1	4.1	6.6	4.4	3.7	12.5	7.4
Anz. Detailhandelbeschäftigte/1000 Einw.	69.9	55.1	36.8	21.0	72.0	37.6	29.8	63.2	17.5	32.1	17.7	10.4	52.2	44.2
Dichte (Anz. Einw.+ Arbeitsplätze pro ha)	214	109	68	50	108	68	53	72	47	52	44	34	39	75
Siedlungsfläche in qm pro Einwohner	79.4	127.0	187.9	255.2	141.4	197.6	250.4	210.7	303.3	281.2	356.9	491.8	432.3	209.2
Erholungs- und Grünfläche in qm p/Einw.	19.0	18.1	22.1	21.0	23.0	23.7	18.9	24.8	18.6	25.8	19.1	15.0	41.7	21.5
Siedlungsfläche in % der Gesamtfläche	27.1	16.6	15.9	8.0	14.6	9.4	6.3	4.0	3.7	2.9	2.2	1.0	1.1	3.8
Grün- und Erholungsfläche in % Gsmfl.	6.5	2.4	1.9	0.7	2.4	1.1	0.5	0.5	0.2	0.3	0.1	0.0	0.1	0.4
Anzahl Sportstätten pro 1'000 Einw.	17.5	20.7	24.4	27.8	25.9	25.0	28.5	31.5	35.0	36.7	40.3	46.5	62.5	28.5
Anz. Kultureinrichtungen pro 1'000 Einw.	2.8	0.9	0.7	0.9	3.5	1.3	0.9	3.0	1.1	2.0	1.4	1.3	4.2	1.8
Erreichbarkeitsindex IV gemäss IVT	10.0	10.0	7.9	5.9	10.0	8.6	4.4	9.1	4.2	5.6	1.8	1.0	5.6	-
Erreichbarkeitsindex ÖV gemäss IVT	10.0	9.4	7.3	5.8	7.3	7.4	5.1	4.8	2.8	2.6	1.9	1.3	1.8	-
Anz. Personenwagen p./Einw. 15-80	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Tabelle 15: Ausgewählte Kennziffern der 13 ARE-Gemeindetypen.

A-3.4 Ergebnisse und Erklärungen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Berechnungsergebnisse präsentiert. Zusätzlich enthält das Kapitel auch Erklärungen und Hypothesen in Bezug auf die Frage, wodurch Unterschiede im wohnungsabhängigen Verkehrsenergieverbrauch verschiedener Gemeinde- und Siedlungstypen verursacht werden. Als mögliche Ursachen und Erklärungsfaktoren der von uns errechneten Unterschiede kommen aus logischen Gründen nur unterschiedliche Etappenhäufigkeit und -länge sowie Unterschiede bei der Verkehrsmittelwahl bzw. beim Modal Split in Frage. Diese sind ihrerseits von den Merkmalen und Eigenschaften der 13 Gemeindetypen bzw. der in ihnen lebenden BewohnerInnen abhängig. Die Zusammenhänge und Verflechtungen zwischen Siedlung und Verkehr sind jedoch sehr komplex und können auch mit Hilfe besserer, umfangreicherer und mehrere Zeitpunkte umfassender Daten nur bedingt geklärt werden. In der Folge werden einige erklärende Hypothesen formuliert und bezüglich ihrer Zutreffenswahrscheinlichkeit und Erklärungsrelevanz unseren Daten und Ergebnissen gegenüber gestellt.

A-3.4.1 Anzahl bzw. Häufigkeit der zurückgelegten Etappen

In Tabelle 17 (s. unten) wird die durchschnittliche tägliche Anzahl der wohnungsabhängigen Etappen pro Einwohner im Alter zwischen 15-80 Jahren gezeigt. Die tiefsten Werte der inneren und äusseren Gürtel der Grosszentrenagglomerationen und der agrarischen Gemeinden (ARE3, 4 und 12) liegen bei 8, die höchsten Werte der Klein- und Mittelzentren (ARE5 und ARE11) bei ungefähr 11 Etappen pro Tag, wobei die Unterschiede im Pendler-, Einkaufs- und Freizeitverkehr stärker ausgeprägt sind als jene im Ausbildungs-, Berufs- und Begleitverkehr. Die festgestellten Unterschiede im Pendlerverkehr hängen davon ab, wie viele BewohnerInnen im entsprechenden Alter erwerbstätig sind und wie viele wie häufig über Mittag nach Hause zurückkehren. Im Einkaufsverkehr hängen die festgestellten Unterschiede in erster Linie damit zusammen, ob grosse oder kleine Einkäufe getätigt werden; vermutlich weniger wichtig ist, ob insgesamt mehr oder weniger konsumiert wird. Bei den Erholungs- und Freizeitaktivitäten spielen sowohl ihre absolute Häufigkeit, als auch der Grad ihrer Zerstückelung (Segmentierung) in Einzelaktivitäten eine wichtige Rolle. Insgesamt sind aber die Unterschiede bei diesem Indikator nicht sehr stark ausgeprägt, und somit eine weniger stark ins Gewicht fallende Ursache der Unterschiede im Verkehrsenergieverbrauch verschiedener Gemeindetypen.

durchschnittliche Anzahl Etappen pro Tag und Einwohner im Alter 15-80 J.	PEND	AUSB	EINK	BERUF	FREIZ	BEGL	ALL
ARE1: Grosszentren	2.4	0.6	1.5	0.4	3.0	0.1	8.1
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	2.3	0.5	1.8	0.6	3.1	0.1	8.5
ARE3: Inn. Gürt. der GZ-Aggl.	2.1	0.6	1.6	0.5	3.1	0.2	8.0
ARE4: Äuss. Gürt. der GZ-Aggl.	1.9	0.6	1.4	0.7	3.2	0.1	8.0
ARE5: Mittelzentren	3.1	0.7	2.0	0.7	4.1	0.2	10.9
ARE 6: Inn. Gürt. der weiteren Agglo.	2.3	0.6	1.8	0.6	3.4	0.1	8.9
ARE7: Äuss. Gürt. der weiteren Agglo.	2.1	0.6	1.7	0.6	3.4	0.1	8.6
ARE8: Kleinzentren	3.0	0.9	2.1	0.8	4.2	0.2	11.1
ARE9: Wegpendlergemeinden	2.2	0.8	1.4	0.6	3.5	0.1	8.7
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	2.5	0.9	1.7	0.8	3.7	0.2	9.7
ARE11: Semiagrarische Gemeinden	2.1	0.9	1.4	0.9	3.6	0.2	9.1
ARE12: Agrarische Gemeinden	1.7	0.7	1.2	0.8	3.4	0.3	8.0
ARE13: Touristische Gemeinden	1.9	0.7	1.6	0.8	3.7	0.2	9.0
Alle ARE Typen insgesamt	2.3	0.7	1.6	0.6	3.4	0.1	8.8
Standardabweichungen ARE1-13	0.41	0.14	0.26	0.14	0.37	0.07	1.03

Tabelle 16: Durchschnittliche tägliche Anzahl der zurückgelegten wohnungsabhängigen Etappen pro Einwohner im Alter 15-80 Jahren.

Abkürzungen für Verkehrszwecke in dieser und den folgenden Tabellen:

PEND	=	Pendlerverkehr
AUSB	=	Ausbildungsverkehr
EINK	=	Einkaufsverkehr
BERUF	=	Berufsverkehr
FREIZ	=	Freizeitverkehr
BEGLEIT	=	Begleitverkehr
ALL	=	Alle Verkehrszwecke

Prozentuale Abweichungen einzelner Gemeindetypen	PEND	AUSB	EINK	BERUF	FREIZ	BEGL	ALL
ARE1: Grosszentren	4.0	-13.5	-6.6	-27.0	-11.5	-25.5	-7.9
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	0.5	-21.1	9.3	-6.6	-8.6	-6.5	-3.6
ARE3: Inn. Gürt. der GZ-Agglo.	-11.4	-9.8	-5.3	-13.9	-8.8	13.4	-8.9
ARE4: Äuss. Gürt. der GZ-Agglo.	-18.4	-7.9	-15.1	7.7	-4.1	0.6	-9.3
ARE5: Mittelzentren	31.7	9.0	24.3	10.1	22.8	27.5	23.5
ARE 6: Inn. Gürt. der weiteren Agglo.	-2.8	-5.4	11.9	-7.9	1.2	-17.9	0.7
ARE7: Äussere Gürtel der weiteren Agglo.	-8.6	-5.8	0.7	-0.3	1.1	-14.4	-2.4
ARE8: Kleinzentren	27.6	29.7	29.5	33.3	23.8	5.8	26.7
ARE9: Wegpendlergemeinden	-5.3	20.7	-15.5	3.5	4.3	-0.7	-0.8
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	6.3	29.0	2.4	27.5	9.8	7.4	10.2
ARE11: Semiagrarische Gemeinden	-10.4	34.1	-15.0	51.3	6.5	15.1	3.4
ARE12: Agrarische Gemeinden	-26.2	3.7	-25.5	25.7	-0.8	72.1	-8.7
ARE13: Touristische Gemeinden	-16.7	3.3	-4.7	32.9	10.8	22.1	1.8
Alle ARE Typen insgesamt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle 17: Prozentuale Abweichungen der täglichen Anzahl der zurückgelegten wohnungsabhängigen Etappen pro Einwohner im Alter 15-80 Jahren vom schweizerischen Mittel.

A-3.4.2 Durchschnittliche Etappenlänge

Tabelle 18 zeigt die durchschnittlichen Längen der erfassten wohnungsabhängigen Etappen. Die Spannweite zwischen den tiefsten und höchsten Werten dieses Indikators ist sehr gross: Der Gesamtverkehr-Tiefstwert der Grosszentren beträgt 2.9 km gegenüber 5.0 km in den agrarischen Gemeinden. Die Unterschiede in der Etappenlänge sind vor allem im Begleitverkehr, Einkaufsverkehr, Berufsverkehr und Pendlerverkehr stark ausgeprägt und haben - wie dies zumindest teilweise durch die Daten in der Tabelle 15 belegt werden kann - mit dem schlechteren Lokalangebot und mit grösseren Entfernungen zum nächstgelegenen Ort zu tun, an welchem man die entsprechende Aktivität ausüben bzw. die entsprechenden Bedürfnisse befriedigen kann. Dass sich die räumlichen Bedingungen und verfügbaren Möglichkeiten und Angebote in der Wohngemeinde vor allem auf die zurückgelegten Distanzen und Verkehrsleistungen - und weniger stark auf die Anzahl Fahrten und Verkehrsmittelwahl - auswirken, wurde auch in der bereits erwähnten Studie des ARE aus dem Jahre 2006 nachgewiesen, deren Autoren folgende Feststellungen machen:

"Die Tagesdistanz pro Person und Tag ist ein zentraler Indikator für den Verkehrsaufwand und sinkt

- bei höherer Siedlungsdichte in der Wohngemeinde wie auch im Wohnquartier,
- bei geringerer Distanz der Wohnungen zu Versorgungseinrichtungen wie Läden, Post, Bank, Arzt, Apotheke,
- bei Bewohnern von Mehrfamilienhäusern sowie
- mit zunehmender Grösse der Wohngemeinde.

Diese Bedingungen tragen gleichzeitig dazu bei, dass für die Haushalte der Besitz eines Personenwagens weniger notwendig wird.

Die spezifischen räumlichen Bedingungen verschiedener Siedlungstypen führen zu markanten Unterschieden in den Tagesdistanzen der Bewohner. Personen aus gering verdichteten Quartieren am Agglomerationsrand haben bei gleichem sozioökonomischen Profil einen mindestens 40% höheren täglichen Kilometeraufwand als Bewohner verdichteter städtischer Quartiere, die über kurze Distanzen zu wichtigen Infrastruktur- und Dienstleistungseinrichtungen verfügen".

Durchschnittliche Etappenlänge in km	PEND	AUSB	EINK	BERUF	FREIZ	BEGL	ALL
ARE1: Grosszentren	2.5	2.6	1.5	4.0	3.9	2.0	2.9
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	3.2	2.4	1.9	3.9	4.5	2.8	3.4
ARE3: Inn. Gürt. der GZ-Aggl.	3.6	1.8	2.3	3.9	4.7	3.1	3.7
ARE4: Äuss. Gürt. der GZ-Aggl.	5.3	2.1	2.8	4.7	4.8	2.0	4.3
ARE5: Mittelzentren	3.3	2.8	1.7	4.8	4.6	2.8	3.6
ARE 6: Inn. Gürt. der weiteren Aggl.	3.7	1.9	2.2	5.3	4.3	1.8	3.6
ARE7: Äuss. Gürt. der weiteren Aggl.	3.9	1.8	2.6	3.7	4.4	4.2	3.7
ARE8: Kleinzentren	3.7	3.3	1.9	6.0	4.7	4.6	3.9
ARE9: Wegpendlergemeinden	4.5	2.0	3.1	4.1	4.8	4.8	4.1
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	4.2	2.5	2.5	4.0	4.8	4.4	4.0
ARE11: Semiagrarisches Gemeinden	4.8	2.1	3.8	4.1	4.5	3.3	4.2
ARE12: Agrarische Gemeinden	3.8	2.4	5.1	6.1	5.7	7.6	5.0
ARE13: Touristische Gemeinden	4.4	1.8	3.3	3.4	4.8	2.1	4.0
Alle ARE Typen insgesamt	3.6	2.3	2.2	4.3	4.5	3.2	3.6
Standardabweichungen ARE1-13	0.73	0.45	0.99	0.86	0.41	1.62	0.50

Tabelle 18: Durchschnittslänge der am Stichtag erfassten wohnungsabhängigen Etappen nach Verkehrszweck und Gemeindetyp

Prozentuale Abweichungen einzelner Gemeindetypen	PEND	AUSB	EINK	BERUF	FREIZ	B EGL	ALL
ARE1: Grosszentren	-31.1	12.5	-35.0	-6.0	-13.2	-37.2	-20.1
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	-12.2	4.6	-15.4	-8.4	-0.7	-12.4	-7.3
ARE3: Inn. Gürt. der GZ-Aggl.	1.0	-21.6	3.4	-9.2	4.4	-2.9	0.6
ARE4: Äuss. Gürt. der GZ-Aggl.	47.7	-6.0	23.5	8.9	7.0	-37.3	18.5
ARE5: Mittelzentren	-6.9	21.6	-23.3	12.8	2.1	-11.2	-1.8
ARE 6: Innere Gürtel der weiteren Aggl.	2.7	-18.2	-1.5	23.9	-5.0	-44.4	-2.1
ARE7: Äussere Gürtel der weiteren Aggl.	9.6	-19.9	17.9	-13.7	-2.9	32.0	1.6
ARE8: Kleinzentren	3.5	45.5	-13.2	40.0	3.7	44.8	7.0
ARE9: Wegpendlergemeinden	24.3	-11.5	39.9	-4.2	6.8	50.4	14.1
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	17.7	10.9	11.6	-6.4	6.5	40.1	9.6
ARE11: Semiagrarische Gemeinden	33.5	-6.9	69.9	-4.3	0.5	4.0	14.9
ARE12: Agrarische Gemeinden	4.7	5.0	130.0	43.3	26.5	140.6	38.1
ARE13: Touristische Gemeinden	21.2	-21.7	49.2	-21.5	5.5	-33.0	10.4
Alle ARE Typen insgesamt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle 19: Prozentuale Abweichung der Durchschnittslänge der am Stichtag erfassten wohnungsabhängigen Etappen pro Verkehrszweck vom schweizerischen Mittel

A-3.4.3 Anteil energiesparender/umweltfreundlicher Verkehrsmittel

In der folgenden Tabelle 21 wird der Modal Split bzw. der Anteil umweltfreundlicher Verkehrsmittel am Total aller wohnungsabhängigen Etappen gezeigt. Zu den umweltfreundlichen Verkehrsmitteln werden alle Verkehrsträger des Langsamverkehrs und des öffentlichen Verkehrs gezählt. Die Spannweite zwischen den tiefsten und höchsten Werten dieses Indikators ist beträchtlich: Der Gesamtverkehrs-Höchstanteil umweltfreundlichen Verkehrs in den Grosszentren beträgt 88.1%; die Tiefswerte der ARE9-, ARE4- und ARE12-Typen liegen nur knapp über 70%. Die Unterschiede zwischen verschiedenen Gemeindetypen sind vor allem im Einkaufs- und Pendlerverkehr stark ausgeprägt und haben vorab mit dem vorhandenen ÖV- und Langsamverkehrsangebot bzw. mit seiner Attraktivität, mit den topografischen Verhältnissen und mit den zu bewältigenden Distanzen zu tun.

Modal Split / Anteil energiesparender / umweltfreundlicher Verkehrsmittel (in%)	Etappen							Verk.-Leistg.
	PEND	AUSB	EINK	FREIZ	BERUF	B EGL	ALL	ALL ohne LV
ARE1: Grosszentren	89.2	96.6	90.2	85.9	80.6	79.0	88.1	43.6
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	78.9	92.1	79.5	76.7	70.4	75.4	78.4	18.3
ARE3: Inn. Gürt. der GZ-Agglo.	73.2	90.4	75.1	74.0	67.9	67.7	74.8	13.8
ARE4: Äuss. Gürt. der GZ-Agglo.	69.3	90.8	68.5	74.6	67.3	65.2	72.8	13.0
ARE5: Mittelzentren	81.1	94.7	84.2	80.5	72.8	75.0	81.7	31.4
ARE 6: Inn. Gürt. der weiteren Agglo	74.4	92.5	75.0	75.7	67.2	69.0	75.8	11.1
ARE7: Äuss. Gürt. weitere Agglo	70.7	92.1	73.3	74.7	67.7	65.2	74.1	12.9
ARE8: Kleinzentren	75.8	91.4	80.9	78.9	70.3	73.9	78.7	20.9
ARE9: Wegpendlergemeinden	67.6	92.5	67.5	72.5	66.1	67.9	71.8	14.6
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	72.2	91.2	74.7	75.7	71.0	67.7	75.5	14.7
ARE11: Semiagrarische Gemeinden	67.0	92.1	70.2	75.0	70.7	67.9	73.6	10.9
ARE12: Agrarische Gemeinden	71.7	91.0	64.8	74.1	68.1	65.3	72.8	7.1
ARE13: Touristische Gemeinden	74.8	95.5	75.5	83.1	70.5	71.6	79.6	14.2
Alle ARE Typen insgesamt	77.0	92.8	78.4	77.8	70.9	70.9	78.3	19.8
Standardabweichungen ARE1-13	6.1	1.9	7.0	4.0	3.7	4.5	4.5	

Tabelle 20: Modal Split bzw. Anteil umweltfreundlicher Verkehrsmittel am Total aller wohnungsabhängigen Etappen (inkl. Langsamverkehr) sowie Modalsplit der Verkehrsleistungen aller Verkehrszwecke ohne Langsamverkehr nach ARE-Gemeindetyp.

Prozentuale Abweichungen einzelner Gemeindetypen	PEND	AUSB	EINK	FREIZ	BERUF	B EGL	ALL
ARE1: Grosszentren	15.7	4.1	15.0	10.5	13.6	11.5	12.5
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	2.4	-0.8	1.4	-1.4	-0.8	6.4	0.2
ARE3: Inn. Gürt. der GZ-Agglo.	-5.0	-2.6	-4.1	-4.8	-4.3	-4.5	-4.5
ARE4: Äuss. Gürt. der GZ-Agglo.	-10.1	-2.2	-12.6	-4.0	-5.1	-8.1	-7.0
ARE5: Mittelzentren	5.3	2.0	7.4	3.4	2.6	5.8	4.4
ARE 6: Inn. Gürt. der weiteren Agglo.	-3.4	-0.3	-4.3	-2.7	-5.2	-2.6	-3.1
ARE7: Äuss. Gürt. der weiteren Agglo.	-8.2	-0.8	-6.5	-4.0	-4.5	-8.0	-5.3

Prozentuale Abweichungen einzelner Gemeindetypen	PEND	AUSB	EINK	FREI Z	BERUF	BEGL	ALL
ARE8: Kleinzentren	-1.6	-1.5	3.2	1.4	-0.9	4.3	0.6
ARE9: Wegpendlergemeinden	-12.3	-0.3	-13.9	-6.9	-6.8	-4.2	-8.3
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	-6.3	-1.7	-4.6	-2.7	0.0	-4.5	-3.5
ARE11: Semiagrarische Gemeinden	-13.0	-0.7	-10.4	-3.6	-0.3	-4.1	-6.0
ARE12: Agrarische Gemeinden	-6.9	-2.0	-17.3	-4.7	-4.0	-7.8	-7.0
ARE13: Touristische Gemeinden	-2.9	2.9	-3.7	6.9	-0.6	1.1	1.7
Alle ARE Typen insgesamt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle 21: Prozentuale Abweichung des Modal Split bzw. des Anteils umweltfreundlicher Verkehrsmittel am Total aller wohnungsabhängigen Etappen vom schweizerischen Mittel

A-3.4.4 Resultat: Grosse Unterschiede im verkehrsbedingten Energieverbrauch verschiedener Siedlungs- und Gemeindetypen

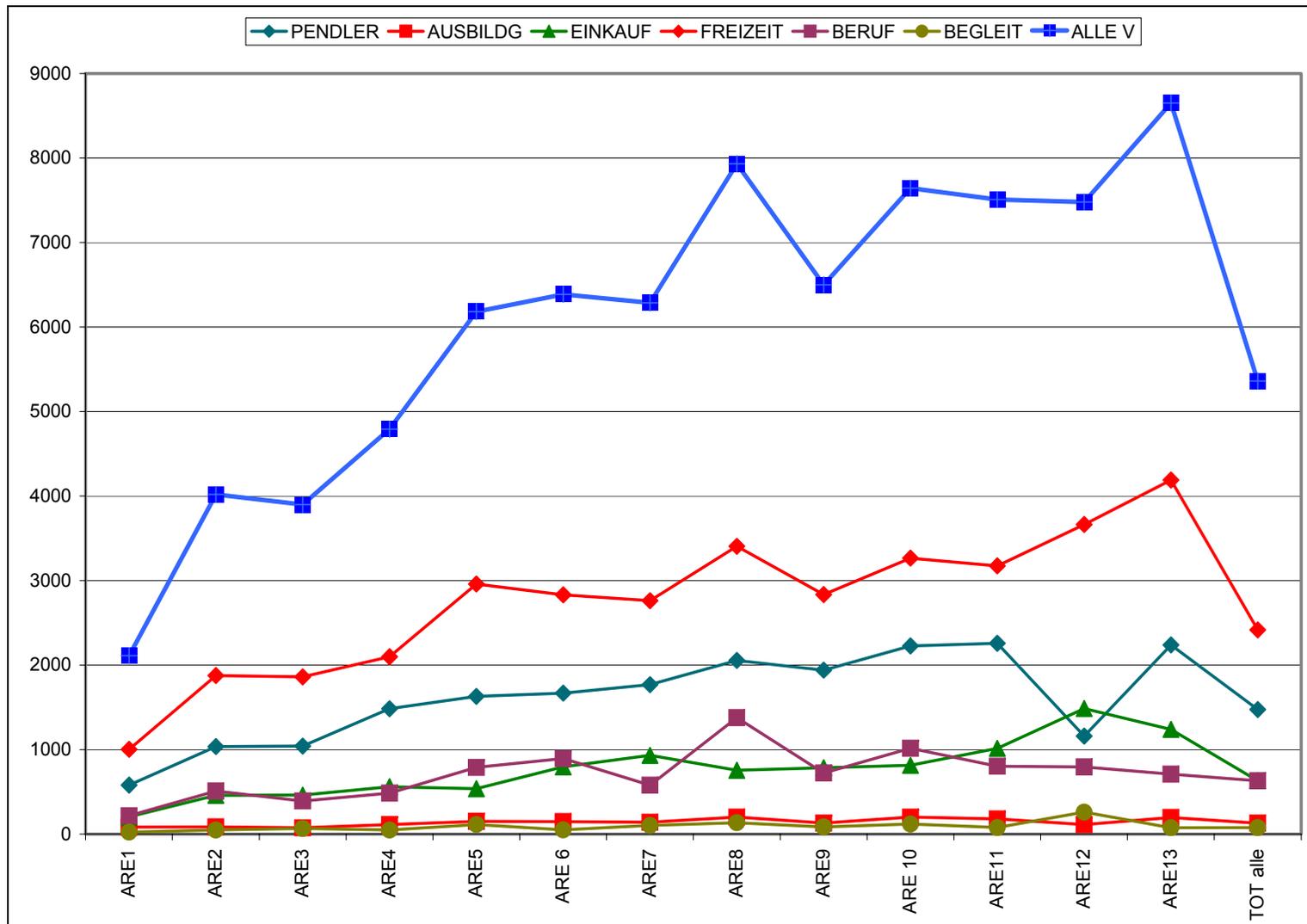
In diesem Abschnitt und in den folgenden Tabellen und Grafiken wird der Einfluss von Etappenhäufigkeit, Etappenlänge und Verkehrsmittelwahl auf den verkehrsbedingten End- und Primärenergieverbrauch pro Einwohner im Alter zwischen 15-80 Jahren zusammengefasst. Die 13 Gemeindetypen klumpen bzw. zerfallen klar in drei verschiedene Gruppen. Tief bzw. unterdurchschnittlich ist der wohnungsabhängige Verkehrsend- und -primärenergieverbrauch in den ersten vier Gemeindetypen ARE1-ARE4. In einem mittleren Bereich liegt der Verkehrsend- und -primärenergieverbrauch der Mittelzentren (ARE5), der inneren und äusseren Gürtel der weiteren Agglomerationen (ARE6 und ARE7) sowie der Wegpendlergemeinden (ARE9). Überdurchschnittlich sind die wohnungsabhängigen Verkehrsend- und -primärenergieverbräuche aller übrigen Gemeindetypen. **Der jährliche Verkehrsend- und -primärenergieverbrauch pro Einwohner im Alter von 15-80 Jahren beträgt in den touristischen Gemeinden nahezu das Vierfache desjenigen in den Grosszentren!**

	ENDENERGIE [kWh]							PRIMÄRENERGIE [kWh]						
	PEND	AUSB	EINK	FREIZ	BERUF	BEGL	ALL	PEND	AUSB	EINK	FREIZ	BERUF	BEGL	ALL
ARE1: Grosszentren	579.9	83.7	204.2	1004.0	217.7	23.0	2112.7	901.2	157.0	326.8	1538.5	321.8	34.1	3279.4
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	1036.5	86.5	458.4	1877.2	510.1	49.5	4018.2	1584.5	146.0	690.8	2789.0	754.7	82.9	6047.9
ARE3: Inn. Gürtel der GZ-Agglomerationen	1041.5	75.3	461.6	1861.3	392.1	67.4	3899.2	1556.9	129.4	687.6	2768.2	579.2	98.4	5819.8
ARE4: Äuss. Gürtel der GZ-Agglomerationen	1483.8	114.3	560.7	2099.4	485.2	48.7	4792.2	2201.6	191.7	825.3	3116.2	714.1	71.1	7120.0
ARE5: Mittelzentren	1629.8	151.3	538.1	2960.0	788.6	114.4	6182.3	2421.5	241.4	810.0	4434.7	1173.6	167.7	9248.8
ARE 6: Inn. Gürtel der weit. Agglomerationen	1668.4	147.4	795.8	2831.0	894.1	50.0	6386.7	2459.7	232.0	1184.0	4194.7	1319.8	73.2	9463.4
ARE7: Äuss. Gürtel der weit. Agglomerationen	1769.2	140.7	932.7	2762.0	578.7	103.2	6286.4	2611.7	242.7	1389.2	4090.4	846.3	151.3	9331.6
ARE8: Kleinzentren	2055.1	200.9	756.1	3405.8	1378.0	135.4	7931.3	3013.6	316.5	1108.8	5184.1	2035.1	198.3	11856.3
ARE9: Wegpendlergemeinden	1940.1	130.5	785.6	2834.6	723.1	86.3	6500.1	2869.0	239.6	1155.0	4216.3	1068.9	126.3	9675.1
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	2226.3	200.7	813.8	3266.2	1015.8	119.7	7642.6	3280.9	324.0	1198.1	4961.7	1507.8	175.1	11447.7
ARE11: Semiagrarische Gemeinden	2258.0	179.5	1014.8	3174.0	803.4	78.4	7508.1	3321.8	335.0	1502.8	4781.6	1180.2	114.5	11236.0
ARE12: Agrarische Gemeinden	1160.6	112.9	1486.8	3664.3	794.2	260.8	7479.8	1723.2	262.7	2175.3	5402.7	1164.3	382.3	11110.5
ARE13: Touristische Gemeinden	2239.0	196.9	1239.8	4189.6	710.0	76.4	8651.7	3296.4	335.3	1818.4	6251.8	1040.4	111.8	12854.0
Alle ARE Typen insgesamt	1474.4	129.3	631.1	2416.7	631.8	77.0	5360.3	2191.3	221.0	940.2	3620.7	933.2	113.7	8020.1
Standardabweichungen ARE1-13	537.0	44.8	345.7	859.4	295.3	59.9	1897.4	774.3	71.8	500.6	1286.2	437.0	87.2	2802.0

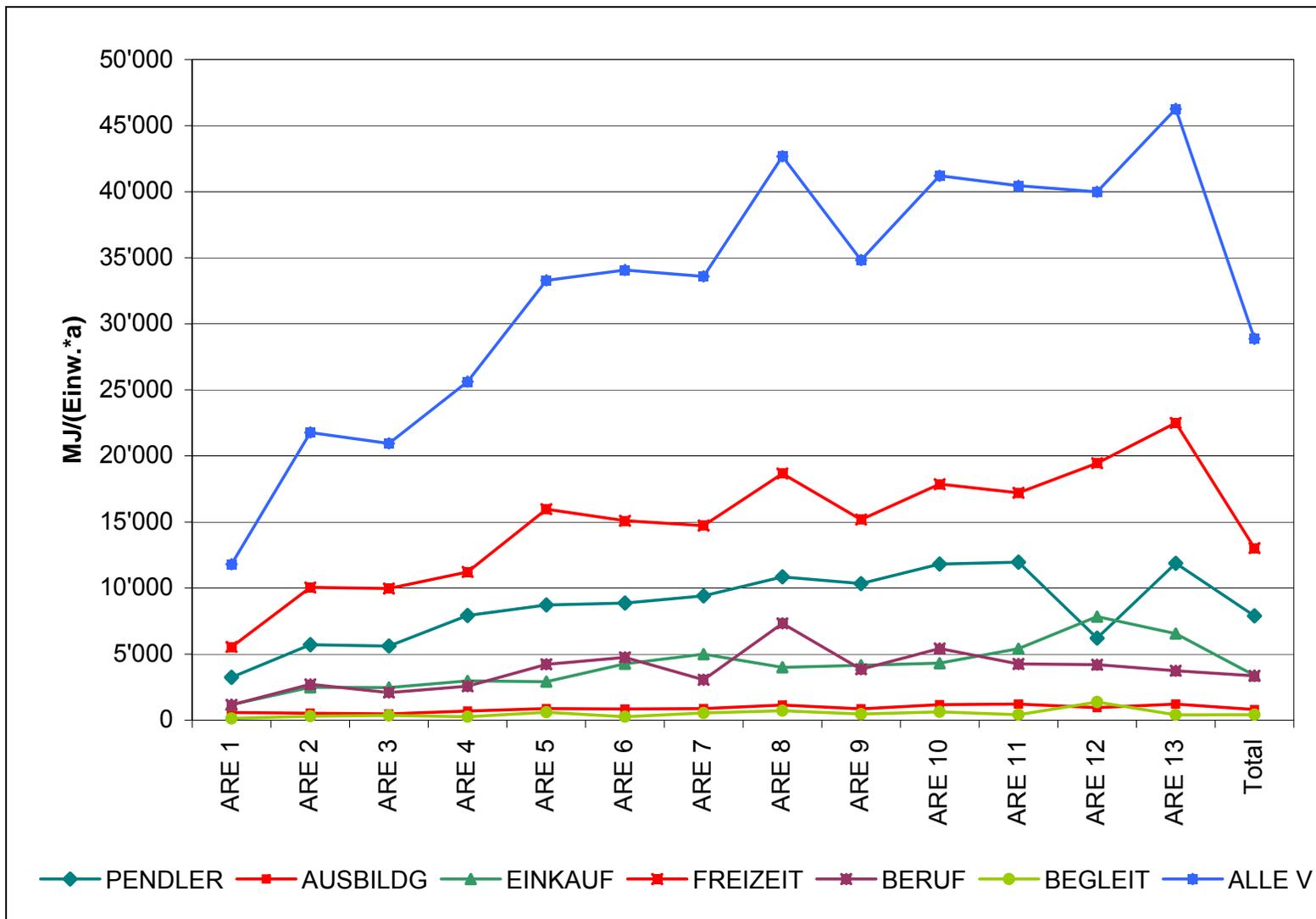
Tabelle 22: Jährlicher End- und Primärenergieverbrauch in kWh für wohnungsabhängigen Verkehr pro Einwohner im Alter zwischen 15 und 80 Jahren nach Gemeindetyp

Prozentualabweichungen einzelner Gemeindetypen	ENDENERGIE [kWh]							PRIMÄRENERGIE [kWh]						
	PEND	AUSB	EINK	FREIZ	BERUF	B EGL	ALL	PEND	AUSB	EINK	FREIZ	BERUF	B EGL	ALL
ARE1: Grosszentren	-60.7	-35.3	-67.6	-58.5	-70.1	-65.5	-60.6	-58.9	-29.0	-65.2	-57.5	-65.5	-70.0	-59.1
ARE2: Nebenzentren der Grosszentren	-29.7	-33.1	-27.4	-22.3	-35.7	-19.3	-25.0	-27.7	-33.9	-26.5	-23.0	-19.1	-27.1	-24.6
ARE3: Inn. Gürtel der GZ-Agglomerationen	-29.4	-41.8	-26.9	-23.0	-12.5	-37.9	-27.3	-29.0	-41.4	-26.9	-23.5	-37.9	-13.5	-27.4
ARE4: Äuss. Gürtel der GZ-Agglomerationen	0.6	-11.6	-11.2	-13.1	-36.8	-23.2	-10.6	0.5	-13.3	-12.2	-13.9	-23.5	-37.5	-11.2
ARE5: Mittelzentren	10.5	17.0	-14.7	22.5	48.5	24.8	15.3	10.5	9.2	-13.8	22.5	25.8	47.5	15.3
ARE 6: Inn. Gürtel der weit. Agglomerationen	13.2	14.0	26.1	17.1	-35.0	41.5	19.1	12.2	5.0	25.9	15.9	41.4	-35.6	18.0
ARE7: Äuss. Gürtel der weit. Agglomerationen	20.0	8.8	47.8	14.3	33.9	-8.4	17.3	19.2	9.8	47.8	13.0	-9.3	33.1	16.4
ARE8: Kleinzentren	39.4	55.4	19.8	40.9	75.8	118.1	48.0	37.5	43.2	17.9	43.2	118.1	74.4	47.8
ARE9: Wegpendlergemeinden	31.6	0.9	24.5	17.3	12.0	14.4	21.3	30.9	8.4	22.8	16.4	14.5	11.1	20.6
ARE 10: Industrielle und tertiäre Gemeinden	51.0	55.2	28.9	35.2	55.5	60.8	42.6	49.7	46.6	27.4	37.0	61.6	54.0	42.7
ARE11: Semiagrarische Gemeinden	53.1	38.8	60.8	31.3	1.8	27.2	40.1	51.6	51.6	59.8	32.1	26.5	0.7	40.1
ARE12: Agrarische Gemeinden	-21.3	-12.7	135.6	51.6	238.7	25.7	39.5	-21.4	18.9	131.4	49.2	24.8	236.2	38.5
ARE13: Touristische Gemeinden	51.9	52.2	96.4	73.4	-0.9	12.4	61.4	50.4	51.7	93.4	72.7	11.5	-1.7	60.3
Alle ARE Typen insgesamt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle 23: Prozentuale Abweichung des jährlichen Endenergieverbrauches für wohnungsabhängigen Verkehr pro Einwohner im Alter zwischen 15-80 Jahren für die verschiedenen Gemeindetypen vom schweizerischen Mittel



Figur 26: Wohnungsabhängiger **Endenergieverbrauch** im Verkehr pro Jahr und Einwohner im Alter 15-80 Jahren, in [kWh/a]



Figur 27: Wohnungsabhängiger **Primärenergieverbrauch** im Verkehr pro Jahr und Einwohner im Alter 15-80 Jahren, in [MJ/a]

Nimmt man die Grosszentren (ARE1) und touristische Gemeinden (ARE13) als zwei in Sachen Energieverbrauch im Verkehr absolut gegensätzliche Typen, so sieht man in der folgenden Tabelle 24, dass die Unterschiede im wohnungsabhängigen Verkehrsenergieverbrauch beider Typen durch alle drei möglichen Ursachen (Etappenzahl, Etappenlänge, Modal Split) erklärt werden können und auch hinsichtlich der meisten Verkehrszwecke bzw. Verkehrsarten systematische Züge aufweisen. Diejenigen Kombinationen, die zum grösseren wohnungsabhängigen Verkehrsenergieverbrauch in den touristischen Gemeinden beitragen, sind in Tabelle 24 farbig unterlegt. Fett hervorgehoben sind zusätzlich grosse und ins Gewicht fallende Wertdifferenzen.

Gleichzeitig fällt auf, dass die Unterschiede bezüglich der Anzahl Etappen am geringsten und diejenigen in Bezug auf die Durchschnittslänge der Etappen am grössten sind. Auch die Unterschiede im Modal Split sind systematisch und relativ stark ausgeprägt. Der wesentlich höhere wohnungsabhängige Verkehrsenergieverbrauch in touristischen Gemeinden ist aber in erster Linie auf die durchschnittlichen Fahrdistanzen - und zwar vorab im Pendler-, Einkaufs- und Freizeitverkehr - zurückzuführen. Diese drei Verkehrsarten sind auch für den Grossteil der Unterschiede zwischen allen 13 Gemeindetypen verantwortlich.

Ø-Anzahl Etappen pro Einwohner im Alter 15-80 J. (absolut)	PEND	AUSB	EINK	BERUF	FREIZ	BEGL
ARE1: Grosszentren	2.4	0.6	1.5	0.4	3.0	0.1
ARE13: Touristische Gemeinden	2.3	0.7	1.6	0.8	3.7	0.2
Durchschnittslänge der Etappen in km	PEND	AUSB	EINK	BERUF	FREIZ	BEGL
ARE1: Grosszentren	2.5	2.6	1.5	4.0	3.9	2.0
ARE13: Touristische Gemeinden	4.4	2.3	3.3	3.4	4.8	2.1
Modal Split/Anteil energiesparender bzw. umweltfreundlicher Verkehrsmittel	PEND	AUSB	EINK	BERUF	FREIZ	BEGL
ARE1: Grosszentren	89.2	96.6	90.2	80.6	85.9	79.0
ARE13: Touristische Gemeinden	74.8	95.5	75.5	70.5	83.1	71.6

Tabelle 24: Gewicht einzelner Erklärungsfaktoren (Etappenzahl, Etappenlänge und Modal Split) am Zustandekommen der Unterschiede im wohnungsabhängigen Endenergieverbrauch Verkehr der Grosszentren und den touristischen Gemeinden

Das Ausmass der festgestellten Unterschiede im wohnungsabhängigen Endenergieverbrauch Verkehr verschiedener Gemeindetypen überrascht. Die Methodik und die Berechnungen wurden deswegen mehrmals überprüft. Dabei sind aber keine Fehler zum Vorschein gekommen, die an dem grundsätzlichen Sachverhalt und wichtigsten Befund der grossen Unterschiede im Verkehrsenergieverbrauch verschiedener Ge-

meindetypen Zweifel aufkommen liessen. Im Gegenteil: Einzelne Faktoren, die wir nicht berücksichtigen konnten, hätten die festgestellten Unterschiede u.U. noch grösser gemacht³⁵.

³⁵ Hier denken wir in erster Linie an die Tatsache, dass in den peripheren und touristischen Gebieten der durchschnittliche Treibstoffverbrauch der Personenwagen (grösserer Hubraum, 4-Radantrieb, mehr Offroader, etc.) tendenziell grösser ist. Weil im "Mikrozensus Verkehrsverhalten 2000" in Haushalten mit mehreren Personenwagen nicht erhoben wurde, mit welchem Fahrzeug die jeweiligen Wege und Etappen zurückgelegt wurden, haben wir unseren Berechnungen einen einheitlichen durchschnittlichen Treibstoffverbrauch von 8,5 l/100 km zugrunde gelegt.

A-4 Ergebnisse Quartiererhebungen der baulichen Strukturen der vier untersuchten Quartiere

Das IRAP untersuchte die vorhandenen baulichen Strukturen in den vier ausgewählten Siedlungszellen, die hinsichtlich der Typologie (städtische und ländliche Wohnsiedlungen) sehr unterschiedlich sind (Gilgen, Beaujean 2007). Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Ermittlung des grauen Energieverbrauches für die Gebäude und die Erschliessungs-, Entsorgungs- und Versorgungs-Infrastruktur in den vier Untersuchungsperimetern. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Ergebnisse der physischen Quartiererhebungen zusammengefasst.

A-4.1 Erhebungen in den Quartieren

Als Grundlage für die Ermittlung des grauen Energieverbrauchs waren siedlungs- und gebäudestrukturelle Daten zu erheben und mit Blick auf die Auswertungen nach gebäude-, parzellen- und quartiersbezogenen Kriterien zu strukturieren.

A-4.1.1 Parzellenweise Erhebungen

Angaben wie Grünflächenanteil, versiegelte Flächen, Unterniveaunutzung und Verkehrsflächen können zum Teil aus den Daten der amtlichen Vermessung (AV) entnommen werden. Diese liefert einen ersten Anhaltspunkt über die Art und die Charakteristik der vier Wohnquartiere (z.B. dichte oder aufgelockerte Bauweise) sowie der Art und des Anteils der Bodenbedeckung (z.B. Anteil der begrüneten Bodenflächen eines Grundstücks).

Da zudem von der Hypothese ausgegangen wird, wonach der Energieverbrauch u.a. auch von der Nutzungsdichte abhängig ist, wurde die Nutzungsdichte pro Parzelle ermittelt. Die Gebäude konnten allerdings nur von Aussen beurteilt werden. Deshalb liessen sich keine nach Haupt-, Nebennutzungen, Konstruktionsflächen usw. differenzierten Analysen vornehmen. Zur Abschätzung der **gebauten Dichte** wurde die Summe aller Nutzflächen durch die Grundstücksfläche dividiert, was der Definition der Geschossflächenziffer entspricht. Dieser Wert darf nicht mit der Ausnutzungsziffer verwechselt werden, die als Mass für die **zulässige Dichte** gilt und nicht alle Nutzflächen berücksichtigt.

1. Bodenbedeckung (zum Teil AV-Daten)	Einheit
- Grünfläche	m ²
- Versiegelte Fläche	m ²
- Unterniveaunutzung (Ergänzung Bauamt)	m ²
- Verkehrsfläche	m ²
- Parkplätze, Garagenvorplätze, Lagerflächen	m ²

2. Auswertung Dichte	Einheit
- Zulässige Dichte nach Nutzungsplan (Ausnützungsziffer oder Baumassenziffer)	%
- Gesamte Geschossflächen (siehe Erhebungsbogen Gebäude)	m ²
- Gesamte Geschossflächen (beheizt)	m ²
- Gesamte Geschossflächen (Unterniveaubauten)	m ²
- Parzellenfläche	m ²
- Bauliche Dichte (Geschossflächenziffer)	

Tabelle 25: Auszug aus dem Erhebungs- und Auswertungsbogen

A-4.1.2 Gebäudeweise Erhebungen

Die Erhebungen auf Gebäudeebene fokussieren insbesondere auf zwei Aspekte, auf die Art der Nutzungen sowie auf die baulichen und strukturellen Gebäudecharakteristiken.

Es wird unter anderem mit gebäudeart- und gebäudealtersabhängigen Kriterien gearbeitet. Für die energetische Situation dienen Angaben über Charakter, Alter und Zustand der Gebäude sowie Hinweise zur Abschätzung der Anzahl und Art der – beheizt oder nicht beheizten – Geschossflächen. Darüber hinaus lassen Angaben bzw. Abschätzungen über die Bewohner- und Arbeitsplatzzahlen erste Rückschlüsse auf die Nutzung der entsprechenden Gebäude zu.

1. Bodenbedeckung (zum Teil AV-Daten)	Einheit
- Gebäudegrundfläche	m ²

3. Dritte Dimension	Einheit
- Vollgeschosszahl (Gebäudehöhe)	(Anzahl)
- Untergeschoss mit Fenstern	(Anzahl)
- Weitere Untergeschosse (evtl. dank Ergänzungen Bauamt)	(Anzahl)
- Geschosse Unterniveaubauten (z.B. freistehende Parkgaragen)	(Anzahl)
- Dachgeschoss	(Anzahl)

4. Nutzung, Nutzungsanteile	Einheit
- Wohnen	%
- Büro, Dienstleistungen	%
- Kundenorientiert: Läden, Gastgewerbe usw.	%
- Gewerbe	%
- Öffentliche Nutzung	%
- Fahrzeugbestand: Abschätzung, evtl. Bauamt (Quellenangabe)	(Anzahl)
- Bemerkungen zu speziellen Wohn-Nutzungen aus energetischer Sicht	%

5. Charakter, Alter und Zustand der Gebäude	Einheit
- Leichtbau / Massivbau	L/M
- Geschätztes Baujahr (Baustil, alte Pläne, alte Darstellungen)	Jahr
- Jahr der letzten Renovationen (Schätzung)	Jahr
- Aussenhautzustand, Sanierungsstand (evtl. Erg. Bauamt)	N/g/i/s
- Fassadenmaterial glas / Metall / Putz / Kompaktfassade	G/M/P/K
- Dachform: Steildach / Flachdach	S/F
- Dachgeschoss: genutzt / ungenutzt	g/u

6. Fensterflächen (Abschätzung)	Einheit
- Fensterfläche	m ²
- Nordfassade	m ²
- Ostfassade	m ²
- Südfassade	m ²
- Westfassade	m ²

6. Fensterflächen (Abschätzung)	Einheit
- Fassadenfläche	m ²
- Nordfassade	m ²
- Ostfassade	m ²
- Südfassade	m ²
- Westfassade	m ²
- Fensterflächenanteil (Berechnung)	
- Nordfassade	%
- Ostfassade	%
- Südfassade	%
- Westfassade	%

7. Bewohner und Arbeitsplätze	Einheit
- Anzahl Wohnungseinheiten (Briefkästen, Klingeln)	(Anzahl)

Tabelle 26: Auszug aus dem Erhebungs- und Auswertungsbogen

A-4.1.3 Quartierweise Erhebungen

Die Angaben betreffen Grundinformationen über das gebaute Infrastrukturnetz, d.h. über Kanalisation, Wasser, Strassen, Energie (Strom-, Gas- oder Fernwärmeversorgung).

	Einheit	Leitungstypen				Strassentypen			
		GrundE	GrobE	FeinE	total	HVS	SS	ES	total
8. Infrastruktur									
- Kanalisation	m								
- Wasserversorgung	m								
- Energieversorgung	m								
- Gas	m								
- Fernwärme	m								
- Elektrisch	m								
- Strassenlänge	m								
- Strassenfläche exkl. Trottoirs und öff. Gehwege	m ²								
- Fläche Trottoir	m ²								
- Fläche öffentliche Gehwege	m ²								

Tabelle 27: Auszug aus dem Erhebungs- und Auswertungsbogen

A-4.2 Zusammenfassung der Resultate

A-4.2.1 Erhebungsmethoden und Genauigkeitsüberlegungen

Flächen der Bodenbedeckung

Wo die Daten der amtlichen Vermessung Flächenauswertungen über die Bodenbedeckung zulassen, konnten die Flächen der gesamten Parzellen mit hoher Genauigkeit gegliedert werden nach

- Grünflächen
- Versiegelten Flächen
- Verkehrsflächen
- Lagerplätzen, Garagevorplätzen, Lagerflächen
- Gebäudegrundflächen.

Die Summe dieser fünf Flächenkategorien sollte jeweils der gesamten Parzellenfläche entsprechen. Da diese Daten aber nur teilweise oder gar nicht verfügbar sind, d.h. die Vermessungsdaten nicht überall Flächenanalysen zulassen (Parzellen nicht als geschlossenen Polygone digitalisiert) bzw. da sie nicht, unvollständig oder uneinheitlich erfasst wurden (z.B. die versiegelte Fläche inkl. oder exkl. Verkehrsfläche und Lagerfläche), mussten sie durch CAD-Auswertungen ergänzt werden.

Die vorliegenden Resultate enthalten somit Ungenauigkeiten, deren Ausmass allerdings abgeschätzt werden kann, indem die gesamte Perimeterfläche auf dreierlei Arten ermittelt wurde, als Summe aller Flächen der Bodenbedeckung, als Summe aller Parzellenflächen sowie als Gesamtfläche (ermittelt mit einer CAD-Analyse). Dabei wird eine weitere Fehlerquelle erkennbar: Bei den Felderhebungen wie bei den Auswertungen der AV-Daten kann es geschehen, dass Parzellen übersehen werden.

Die Flächenangaben der amtlichen Vermessung erfassen neben den Erschliessungsflächen auch jene der Sammel- und Hauptverkehrsstrassen im Quartier (Strassenflächen).

Abschätzung des mittleren Fehlers (entspricht Standardabweichung) der Flächenangaben:

Die ermittelten Flächensummen sind auf ca. ± 1 % genau ermittelt, während für die einzelnen Flächenangaben die Genauigkeiten sehr unterschiedlich sind und im Einzelfall aufgrund der detaillierten Tabellen abgeschätzt werden müssen.

Flächen der Unterniveaunutzung und der Untergeschosse von Hochbauten

Wo Unterniveaunutzungen äusserlich sichtbar sind (z.B. bei Einfahrten, teilweise aus dem Boden herausragenden Bauten) ergaben die Felderhebungen lediglich erste Hinweise hinsichtlich deren Grösse. Die Pläne der amtlichen Vermessung halten die Unterniveaubauten fest und können in der Regel erkannt werden. Das jeweilige Flächenmass lässt sich auf den m^2 genau mittels CAD-Auswertung feststellen.

Ob aber aufgrund dieser Methode alle Unterniveaubauten tatsächlich erfasst werden konnten, lässt sich ohne Zugang zu den einzelnen Gebäuden oder ohne Auswertung der Baugesuchsakten nicht feststellen. Derselbe Vorbehalt gilt bezüglich der Anzahl unterirdischer Geschosse in Unterniveaubauten wie bei Untergeschossen von Hochbauten. Die Auswertungen gehen von der Annahme aus, dass in der Regel ein Keller bzw. Unterniveaugeschoss vorliegt.

Eine Abschätzung des mittleren Fehlers ist hierfür kaum möglich.

Geschossflächen

Basierend auf den erhobenen Gebäudegrundflächen und den Geschosszahlen wurden durch Multiplikationen die Geschossflächen ermittelt. Dabei wurden die entsprechenden Flächen für die Dachgeschosse mit dem erhobenen Prozentfaktor reduziert (siehe „Flächenanteil der darunter liegenden Geschosse“). Wo bei den Erhebungen keine Angaben vorliegen wurde 75 % angenommen. Von Geschoss zu Geschoss abweichende Geschossflächen wurden nicht erfasst. Es wurde immer die Gebäudegrundfläche gemäss amtlicher Vermessung über alle Vollgeschosse angenommen und im Einzelfall aufgrund der detaillierten Tabellen abgeschätzt.

Mit Blick auf die erforderliche Abschätzung der beheizten und der unbeheizten Geschossflächen wurden folgende Auswertungen vorgenommen:

- gesamte Geschossflächen: alle Vollgeschosse, alle Untergeschosse (mit oder ohne Fenster) sowie Attika- bzw. Dachgeschosse (jedoch ohne freistehende Unterniveaubauten)
- Geschossflächen von allen Vollgeschossen, den Untergeschossen mit Fenstern sowie den Attika- bzw. Dachgeschossen (vermutlich weitgehend geheizt)
- Geschossflächen von allen Vollgeschossen sowie den Attika- bzw. Dachgeschossen (jedenfalls geheizt)
- Geschossflächen allein der freistehenden Unterniveaubauten.

Abschätzung des mittleren Fehlers (entspricht Standardabweichung) der Flächenangaben:

Die ermittelten Geschossflächensummen sind auf ca. ± 2 % genau ermittelt, während für die einzelnen Gebäude die Genauigkeiten der Geschossflächen sehr unterschiedlich sind. Dies hängt mit der oben erwähnten Ermittlungsmethode (nicht berücksichtigte rück- und vorspringende Gebäudeteile) zusammen.

Bauliche Dichte (Geschossflächenziffer)

Die bauliche Dichte wird aus dem Quotienten der gesamten Geschossfläche und der Grundstückfläche ermittelt und zwar einmal mit und einmal ohne Berücksichtigung der Unterniveaubauten. Die ermittelten Quotienten entsprechen der in der Norm SIA 421 definierten Geschossflächenziffer GFZ.

Die Genauigkeit dieser Quotienten ergeben sich aus jenen für die Gesamtflächen und Geschossflächensummen ($\sqrt{5} = \pm 2,2$ %).

Nutzungsanteile

Bei der Auswahl der Quartiere wurde darauf geachtet, dass es sich so weit möglich um „reine“ Wohnquartiere handelt. Im Rahmen der Felderhebung wurden die Anteile Wohnnutzung und Arbeitsnutzung bezüglich der einzelnen Grundstücke bzw. Gebäude abgeschätzt. Oft war es allerdings nicht erkennbar, wie weit in den Wohnungen auch Arbeitsplätze integriert sind. Die ermittelten %-Werte sind somit mit Vorbehalt weiter zu verwenden. Hierzu dürften die GIS-Auswertungen bessere Werte ergeben.

Fensterflächen und deren Anteile an der Fassadenfläche

Die Feldaufnahmen brachten eine umfassende Fotodokumentation hervor. Die Anteile Fensterflächen bezogen auf die Fläche der Aussenhaut der einzelnen Gebäude wurden mit Fotoanalysen ermittelt. Soweit die Fassaden einsehbar waren, dürften die ermittelten Werte auf einige Prozente genau sein, doch wo diesbezügliche Annahmen getroffen werden mussten, könnten die Werte im Einzelfall mit relativ grossen Fehlern behaftet sein.

Unter Annahme, dass die einzelnen Verhältniszahlen für die Einzelfassaden mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$ erfasst werden konnten, ergibt sich für die Gesamtfassaden-summe (selbstverständlich abhängig von der Anzahl Fassaden) eine sehr hohe Genauigkeit (mittlerer Fehler $\leq \pm 0,5\%$).

Bewohner und Arbeitsplätze

Basierend der Volkszählung 2000 und der Betriebszählung 2001, die dank der auf Koordinaten bezogenen Erfassung der Werte detailliert mit dem GIS ausgewertet werden konnte, liegen für die Jahre 2000 bzw. 2001 Bevölkerungszahlen und Arbeitsplatzzahlen für die einzelnen Quartiere vor. Zur Abschätzung der Bevölkerungsdichte wurden die so ermittelten Bevölkerungs- und Arbeitszahlen durch die gesamte Parzellenfläche geteilt.

Aus den ermittelten Werten lassen sich auch Einwohneräquivalente Q errechnen: Bevölkerungszahl plus Arbeitsplatzzahl. Der Quotient aus Geschossfläche und Einwohneräquivalent ergibt nun die Flächenbeanspruchung pro Einwohner (-äquivalent).

Die Genauigkeit dieser Quotienten ergibt sich aus jenen für die Gesamtflächen ($\pm 1\%$) und dem Einwohneräquivalent (grobe Schätzung: $\pm 5\%$); dies würde einem mittleren Fehler von $\pm 5,1\%$ entsprechen.

Infrastruktur

Da die amtliche Vermessung nur teilweise eingeführt ist, insbesondere die ergänzenden Kataster der Erschliessungsnetze nur teilweise vorliegen, liessen sich die Netzlängen nur in wenigen Fällen ermitteln. Eine weiterführende Auswertung wäre, basierend auf den verfügbaren analogen Konzeptplänen, möglich, aber mit einigem Aufwand verbunden.

A-4.2.2 Zusammenstellung nach Quartieren

Zusammenfassend werden hier anhand einiger Tabellen die Resultate der Erhebungen dargestellt:

	Parzellenflächen total		Grünflächen		Erschliessungsflächen		Strassenflächen		Gebäudegrundflächen	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
Effretikon	30'828	100.0	21'972	71.3	605	1.96	7590	24.62	6'374	20.7
Oetwil am See	180'261	100.0	96'230	53.4	15'388	8.54	31974	17.74	27'766	15.4
Uster	126'269	100.0	65'043	51.5	5'425	4.30	17578	13.92	27'458	21.7
Zürich	163'344	100.0	72'898	44.6	18'298	11.20	32060	19.63	44'165	27.0

Tabelle 28: Parzellenflächen und Bodenbedeckung

	Geschossflächen total mit UNB		Geschossflächen total ohne UNB		Geschossflächen inkl. UG m. Fenstern	Geschossflächen ohne UG	Geschossflächen Untereineaubauten
	m ²	GFZ	m ²	GFZ	m ²	m ²	m ²
Effretikon	17'589	0.57	16'730	0.54	10'356	10'356	859
Oetwil am See	75'765	0.42	68'930	0.38	68'894	66'115	6'835
Uster	121'140	0.96	109'154	0.86	107'905	90'707	11'986
Zürich	220'533	1.35	201'569	1.23	199'357	171'622	18'964

Tabelle 29: Geschossflächen

	Wohnungszahl (Felderhebung)	Einwohner 2000 (Volkszählung)		Arbeitsplatzzahl 2001 (BZ)		Einwohner-äquivalente Q		Parzellenfläche / Q	Geschossfläche / Q
	W	E	Dichte E/ha	A	Dichte A/ha	Q	Q/W	m ² /Q	m ² /Q
Effretikon	76	330	107.0	17	5.5	347	4.6	89	51
Oetwil am See	442	1'050	58.2	93	5.2	1143	2.6	158	66
Uster	655	1'450	114.8	90	7.1	1540	2.4	82	79
Zürich	1'095	2'670	163.5	287	17.6	2957	2.7	55	75

Q = E+A

Tabelle 30: Dichte und Flächenbeanspruchung

