

INSPIRE: Kosteneffektive Erneuerungsstrategien für weitreichende Energieverbrauchs- und CO₂-Emissionsreduktionen

Stefan von Grünigen stefan.vongruenigen@econcept.ch

Roman Bolliger roman.bolliger@econcept.ch

Martin Jakob martin.jakob@tep-energy.ch

Sonja Kallio sonja.kallio@tep-energy.ch

Walter Ott walter.ott@econcept.ch

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, 8002 Zürich, +41 44 286 75 75

TEP Energy GmbH, Rotbuchstrasse 68, 8037 Zürich, +41 43 500 71 71

Zusammenfassung

Abstract

Die Reduktion der Treibhausemissionen und des Primärenergieverbrauchs im Gebäudebestand stellt nach wie vor eine bedeutende Herausforderung dar. Deren Bewältigung erfordert die Identifikation von kostenoptimalen Erneuerungsstrategien, um eine grösstmögliche Reduktion im Rahmen der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel zu erreichen. Im INSPIRE-Projekt wurden derartige Strategien für einen repräsentativen Mehrfamilienhaustyp der Schweiz identifiziert und bezüglich ihrer Kosten sowie ihrer Energie- und Treibhausgaswirkungen beurteilt und verglichen. Dabei wurde auch ein umfassendes Tool entwickelt, welches Fachpersonen und Entscheidungstragenden erlaubt Berechnungen für ein konkretes Gebäude selbst durchzuführen. Das INSPIRE Tool unterstützt Fachpersonen und Entscheidungstragende bereits in einer frühen Phase des Projektes, Trade-Offs und Synergien zwischen verschiedenen Massnahmen und Massnahmenpaketen zu untersuchen sowie jene Strategien zu identifizieren, die kosteneffizient Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen reduzieren.

The reduction of greenhouse gas emissions and primary energy consumption in the existing building stock is a major challenge. Mastering of this challenge requires the identification of cost optimal retrofit strategies to achieve maximal reduction of energy use and greenhouse gas emissions. Within the framework of the INSPIRE-project, such strategies were investigated for a reference multi-family building in Switzerland. The strategies were evaluated with respect to their life-cycle costs and impacts on energy use and greenhouse gas emissions. A comprehensive calculation tool was developed that allows practitioners and decision makers already in an early phase of the project to carry out calculations for a specific building on their own. The tool supports the users in assessing trade-offs and synergies between different types of measures and in identifying strategies aiming at reducing cost-effectively primary energy usage and greenhouse gas emissions in buildings.

1. Ausgangslage

Während die Energieeffizienz von Neubauten aufgrund gesetzlicher Anforderungen kontinuierlich steigt, stellt die Reduktion der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) und des Primärenergieverbrauchs im Gebäudebestand nach wie vor eine bedeutende Herausforderung dar. Dabei ist es zentral, Erneuerungsstrategien mit kostenoptimalen Lösungen und möglichst grossen Zielbeiträgen zu identifizieren. Das INSPIRE-Projekt leistet einen Beitrag, diese Herausforderungen zu bewältigen.

Im INSPIRE-Projekt wurden Erneuerungsstrategien für einen in der Schweiz repräsentativen Mehrfamilienhaustyp untersucht und bezüglich Lebenszykluskosten, Energie- und Treibhausgaswirkungen beurteilt und verglichen.

Da mit solchen Untersuchungen jeweils nur ein gewisser Teil der möglichen Fällen abgedeckt werden kann und die Situation im Einzelfall oft eine individuelle Betrachtungsweise erfordert, wurde als eines der wesentlichen Ziele des INSPIRE-Projekts ein flexibles und datenbankgestütztes Analysetool entwickelt. Mit Hilfe des «INSPIRE-Tools» wird es Gebäudebesitzer/innen, Planer/innen, Portfoliomanager/innen und Praktiker/innen bereits in einer frühen Projektphase relativ einfach ermöglicht, unterschiedliche Massnahmenpakete zu definieren und diese bezüglich Lebenszykluskosten, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen zu beurteilen. Daraus können praxistaugliche und objektspezifische Erneuerungsstrategien abgeleitet werden.

2. Vorgehen

2.1 Berechnungen

Die im Rahmen des INSPIRE Projektes durchgeführten Berechnungen konzentrieren sich auf Wohngebäude ohne Kühlbedarf. Einbezogen werden die «Betriebsenergie», die «graue Energie», die «grauen» THG-Emissionen (gesamte Primärenergie inkl. Umweltwärme und THG-Emissionen bei der «Erstellung») sowie die vorgelagerten Primärenergieverbräuche der Energieträger und die damit verbundene Treibhausgasemissionen. Noch nicht betrachtet werden die gebäudebezogene Mobilität und der Zusatznutzen von Erneuerungsmassnahmen.

Das methodische Vorgehen umfasst folgende Schritte:

- Schritt 1: Definition von Basisparametern wie kalkulatorischer Zinssatz und Entwicklung der Energiepreise in der Zeitspanne der Analyse.
- Schritt 2: Charakterisierung des Gebäudebestands und Auswahl von Gebäuden für die Fallstudien.
- Schritt 3: Erhebung von techno-ökonomischen Daten zu Massnahmen zur Reduktion von Primärenergie und Treibhausgasemissionen.
- Schritt 4: Definition einer Referenzsituation und verschiedener Strategien (Massnahmenpakete) zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen; dies für verschiedene Typen von Eigentümer/innen.
- Schritt 5: Berechnung der energetischen Wirkung der Massnahmen.
- Schritt 6: Berechnung des Einflusses der Massnahmen auf THG-Emissionen, Primärenergieverbrauch und Lebenszykluskosten und somit Herleitung der Kosteneffizienz.
- Schritt 7: Vergleich verschiedener Massnahmen und Strategien (Massnahmenpakete) sowie Schlussfolgerungen bezüglich kosteneffizienten und nachhaltigen Massnahmenpaketen aus sieben verschiedenen Bereichen (siehe nächste Seite).
- Schritt 8: Empfehlungen für Gebäudeeigentümer und Investoren.

Beim verwendeten Referenzgebäude handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus, welches auf Basis der Schweizer Bautypologie ausgewählt wurde.

Die techno-ökonomischen Daten von Bau-, Umbau und Gebäudetechnologiemassnahmen stammen aus verschiedenen Berichten [1, 2] und Datenquellen. Als Datenquellen wurden beispielsweise der Elementartenkatalog des CRB (Gebäudekonstruktion), Angaben der Fernwärme Zürich sowie Informationen von Amstein+Waltert (Heizsysteme und Gebäudetechnik) und von Siemens (Gebäudeautomation) verwendet.

Um die Vielfalt verschiedener Typen von Eigentümer/innen resp. Investoren/innen und ihre individuellen Präferenzen abzubilden, wurden die folgenden vier Haupttypen definiert: Investitionsaverse, Umweltorientierte, Technologiefokussierte sowie Lebenszykluskostenorientierte.

Basierend auf den vier Haupttypen wurden in einem nächsten Schritt acht Erneuerungsstrategien definiert, wobei der Typ der umweltorientierten Investoren/innen in drei Untertypen (Umweltimage-, Klimawandel-, Primärenergie-orientiert) aufgeteilt wurde. Innerhalb der Strategien wurden jeweils verschiedene Massnahmen(-pakete) aus den folgenden sieben Bereichen ausgewählt.

- Wärmedämmung
- Wahl von Energieträger und Heizsystem
- Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Wahl von effizienteren strombasierte Anwendungen
- Wahl eines primärenergieeffizienten und treibhausgasarmen Energieträgermix
- Steuerung und Regelung mittels Gebäudeautomation
- Vor-Ort-Produktion von erneuerbaren Energien
- Konstruktionsweise und Einsatz von Materialien mit geringer grauer Energie und geringen THG-Emissionen

Die einzelnen Strategien bestehen aus aufeinander aufbauenden Strategieschritten. Die Reihenfolge der Strategieschritte wird dabei durch die Typologisierung der Investoren/innen bestimmt. So besteht beispielsweise der erste Strategieschritt bei investitionsaversen Investoren/innen in der Wahl des Strommixes, bei umwelt-klimawandelorientieren Investoren/innen hingegen im Ersatz des Heizungssystems (siehe Übersicht in Tabelle 1).

2.2 INSPIRE-Tool

Zur Durchführung der Berechnungen wurde das «INSPIRE-Tool» entwickelt, dessen Entwicklung ein weiterer wichtiger Beitrag des Projekts darstellt. Die im Tool umgesetzte Methodik betrachtet die Betriebsenergie, die «graue Energie» und die «grauen TGH-Emissionen» sowie vorgelagerte Lebenszyklus-Primärenergieverbräuche der Energieträger und damit verbundene THG-Emissionen, sowie die Jahreskosten. Die Zusatznutzen der betrachteten Massnahmen können durch die Nutzenden berücksichtigt werden, indem ein Teil der Kosten von den Energieeffizienz- und Klimaschutzmassnahmen abgegrenzt werden.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs folgt den Standardprinzipien nach SIA 380/1 zur Berechnung der Wärmeverluste und -gewinne. Um die Endenergienachfrage zu berechnen, werden zudem Wirkungsgrade verschiedener Heiz- und Warmwassersysteme berücksichtigt, der Stromverbrauch von Lüftungen und Geräten identifiziert und SIA 386.110 für die Wirkung von Regelung und Gebäudeautomation angewendet. Der Primärenergieverbrauch sowie die THG-Emissionen ergeben sich in der Folge aufgrund des gewählten Strommixes sowie aufgrund der Primärenergiefaktoren und der THG-Emissionskoeffizienten gemäss KBOB-Empfehlung. Die Kostenberechnungen werden dynamisch mit der Annuitätenmethode ausgeführt.

Zur Programmierung des INSPIRE-Tools wurde Microsoft Excel 2010 in Verbindung mit der Programmiersprache «Visual Basic for Applications» eingesetzt.

3. Resultate

3.3 Resultate der generischen Berechnungen

In den folgenden Figuren sind die Ergebnisse graphisch dargestellt. Die farbigen Linien verbinden die Punkte der einzelnen Strategieschritte für die acht Erneuerungsstrategien. Der erste Punkt stellt den Referenzfall dar (i.d.R. ganz rechts, da höchste TGH-Emission resp. Primärenergieverbrauch pro Jahr und m^2) gefolgt vom ersten Schritt und von den weiteren Schritten der jeweiligen Strategie. Die Referenzfälle unterscheiden sich teilweise aufgrund der Annahmen bezüglich dem bisherigen Verhalten der Eigentümer/innen-Gruppen.

Die Ergebnisse zeigen, dass beim untersuchten Referenzgebäude (MFH der Periode 1975-1990) die meisten Strategien eine steigende Tendenz der Kosten-Treibhausgasbeziehung resp. der Kosten-Primärenergiebeziehung aufweisen. Dies gilt insbesondere bei den ersten Strategiestritten. Mit einzelnen Ausnahmen sind daher bei den hier verwendeten Annahmen die meisten Massnahmen knapp nicht wirtschaftlich, wobei die Massnahmen in den letzten Strategiestritten jeweils klar unwirtschaftlich sind.

Die in [3] dargestellten Sensitivitätsanalysen zeigen jedoch, dass diese generellen Aussagen vor allem von der gewählten Bauperiode abhängen; bei Gebäuden aus der Periode 1960 bis 1975 ist ein Grossteil der hier knapp nicht wirtschaftlichen Massnahmen knapp wirtschaftlich.

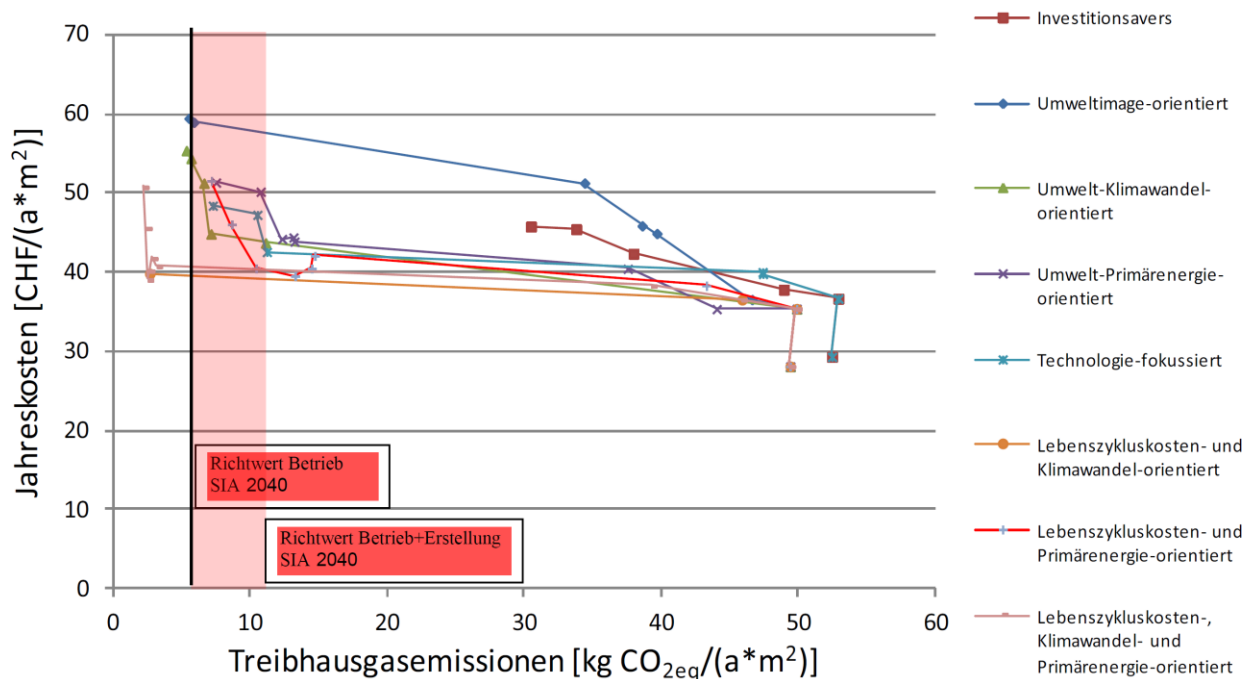


Abbildung 1 Spezifische Jahreskosten als Funktion der spezifischen Treibhausgasemissionen für die Strategiestritte jeder Erneuerungsstrategie (angewandt auf das Referenzgebäude der Bauperiode 1975 – 1990).

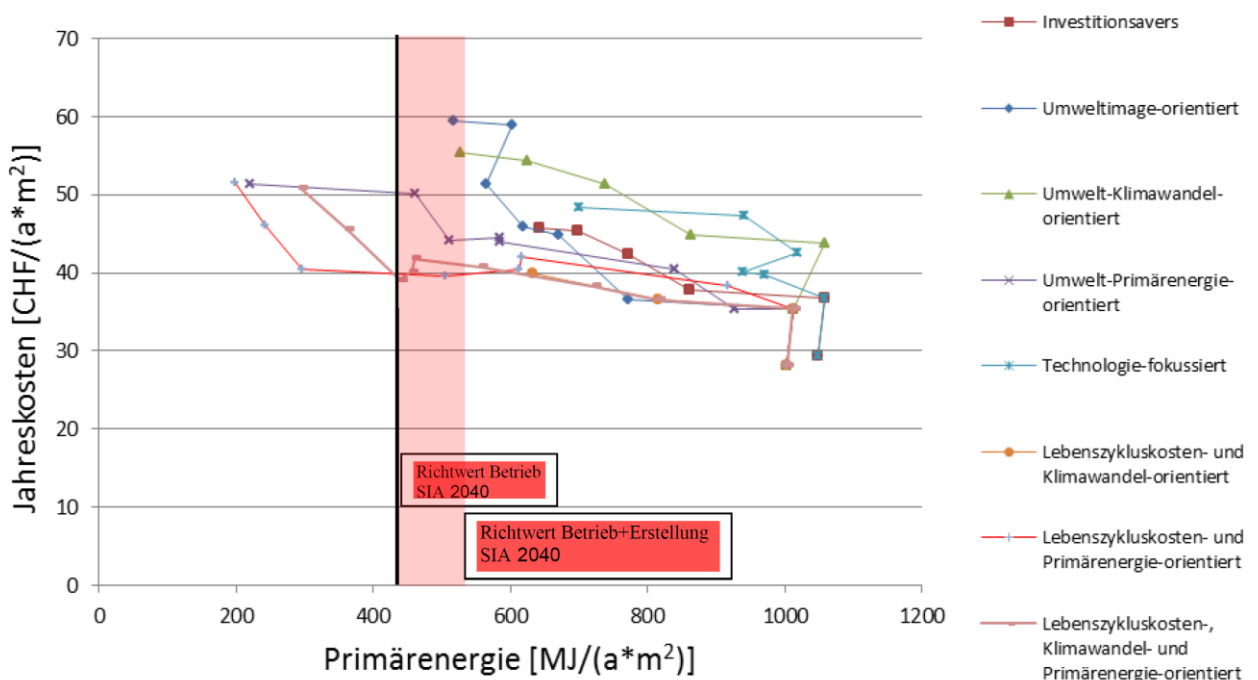


Abbildung 2 Spezifische Jahreskosten als Funktion des gesamten Primärenergieverbrauchs für die Strategiestritte jeder Erneuerungsstrategie (angewandt auf das Referenzgebäude der Bauperiode 1975 – 1990).

Zwei der Strategien erreichen die SIA 2040 Richtwerte „Betrieb“ für Treibhausgasemissionen für Wohngebäude (6 kg CO_{2eq}/m²a) vollständig, zwei sehr knapp und weitere drei näherungsweise. Drei Strategien erreichen die SIA 2040 Richtwerte für den gesamten Primärenergieverbrauch «Betrieb» (450 MJ/m²a gemäss Entwurf zur Norm SIA 2040).

Welche Massnahmen die verschiedenen Strategien beinhalten und welche Reihenfolge der Strategieschritte definiert wurde, ist in der nachfolgenden Tabelle in der Übersicht dargestellt.

Beschreibung	Investitions- avars	Umwelt- image- orientiert	Umwelt- klima- wandel- orientiert	Umweltprimär- energieorien- tiert	Technolo- giefokus- sichert	Lebenszyklus- benszykluskos- ten- und klima- wandelorientiert	Lebenszykluskos- ten- und primär- energie-orientiert	Lebenszykluskos- ten-, klimawandel- und primär- energieorientiert
Verbesserungen des Wärmeschutzes durch Wärmedämmung und Fenstersatz der Gebäudehülle	Schritt 4: Dachwärmedämmung Standard	Schritt 2: Fenster Mi- nergie Step 6 Fassa- de, Minergie	Schritt 3: Fenster Minergie-P	Schritt 1: Fas- sade Minergie			Schritt 1: Fassade Minergie-P	Schritt 2: Fassade Minergie-P
Wahl des Energieträgers / Wechsel der Heizungsanlage	Schritt 2 Gas statt Öl	Schritt 5 Holz statt Öl	Schritt 1 Holz statt Öl	Schritt 3 Fernwärme statt Öl	Schritt 3 WP geo statt Öl	Schritt 2 WP geo statt Öl	Schritt 2 Fernwärme statt Öl	Schritt 3 WP geo statt Öl
Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung		Schritt 4	Schritt 2		Schritt 4		Schritt 7	Schritt 8
Effizientere Stromwendungen (wie z.B. Beleuchtung, Haushaltsgeräte)				Schritt 5: Hoch- effiziente Haus- haltgeräte und Beleuchtung	Schritt 2: Mittelfeizi- ente Haus- haltgeräte		Schritt 4: Hoch- effiziente Haus- haltgeräte und Beleuchtung	Schritt 6: Hocheffi- ziente Haushaltge- räte und Beleuch- tung
Wahl des Strommixes (weniger primärenergie- und treibhausgasintensiv)	Schritt 1	Schritt 3	Schritt 2			Schritt 1		Schritt 1
Steuerung und Regelung der energetischen Gebäudesysteme und Anwendungen von Effizienzlevel C bis B oder A (gemäss SIA 386.110)	Schritt 3 C zu B		Schritt 4 C zu A, nur thermisch	Schritt 6 C zu A	Schritt 1 C zu B		Schritt 6 C zu A	Schritt 7 C zu A
Vor-Ort-Produktion von erneuerbaren Energien: thermische Solar-, PV- oder Windanlage		Schritt 1	Schritt 5	Schritt 7	Schritt 5		Schritt 5	Schritt 4
Konstruktiver Aufbau und Materialwahl mit geringer grauer Energie und Treibhausgasemissionen				Schritt 4			Schritt 3	Schritt 5

Tabelle 1 Darstellung der Strategiestritte für die Hauptstrategien, angewandt auf das Referenzgebäude der Bauperiode 1975 – 1990

Die detaillierte Analyse der Ergebnisse zeigt, dass die Kosteneffizienz von Massnahmen an der Gebäudehülle wesentlich vom energetischen Ausgangszustand (Gebäudehülle, Energieträger), den vorgängig durchgeführten Energie- und Klimaschutz-Massnahmen sowie der Reihenfolge der Massnahmen abhängt.

Grundsätzlich können die Ziele des Effizienzpfades Energie gemäss SIA 2040 für Gebäude aus allen untersuchten Bauperioden erreicht werden.

3.4 INSPIRE-Tool

Das INSPIRE-Tool setzt auf der oben beschriebenen Methodik auf, basiert auf Microsoft Excel 2010, nutzt jedoch zusätzliche, mit VBA entwickelte Funktionalitäten. Die Abfrage der internen Datenbank geschieht mittels SQL-Befehlen, was eine zukünftige Portierung der Datenbank auf andere Plattformen erleichtern soll. Das INSPIRE-Tool kann im Internet [4] heruntergeladen und offline benutzt werden. Die Verwendung von Excel als Plattform vereinfacht die Nutzung des Tools in der Praxis und die Anpassung an spezifische Bedürfnisse der Nutzenden.

Das Tool enthält eine umfassende Datenbank mit Standardwerten zur Beschreibung des Ausgangszustands des Gebäudes sowie mit techno-ökonomischen Kennwerten zur Charakterisierung der Massnahmen. Die im Tool hinterlegten Werte werden dabei dynamisch aufgrund der Definition des Gebäudes und der von den Nutzenden ausgewählten Massnahmen berechnet und im Tool als Default-Werte dargestellt. Der grösste Teil der Default-Werte kann mit eigenen Werten überschrieben werden. Dies erlaubt es einerseits, das Tool sowohl in einer frühen Projektentwicklungsphase einzusetzen als auch zu einem späteren Zeitpunkt, wenn genauere Informationen vorhanden sind. Andererseits können so verschiedene Gruppen von Nutzer/innen mit unterschiedlich ausgeprägten Fachkenntnissen angesprochen werden.

Das Tool besteht aus drei Eingabebereichen und zwei Outputbereichen. Im ersten Eingabebereich wird der Ausgangszustand des Gebäudes definiert. Im zweiten Eingabebereich können bis zu acht Massnahmenpakete mit energetischen Erneuerungen sowie zwei Referenzvarianten festgelegt werden. Im dritten Eingabebereich wird die erwartete Entwicklung der Preise für verschiedene Energieträger definiert.

In einem ersten Outputbereich werden die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt. Dies betrifft insbesondere die Lebenszykluskosten, die THG-Emissionen pro Jahr sowie der Primärenergieverbrauch pro Jahr. Zusätzlich werden zwei Diagramme generiert, welche die THG-Emissionen einerseits und den Primärenergieverbrauch andererseits jeweils mit den Lebenszykluskosten gegenüberstellen. Alle Resultate werden für jedes Massnahmenpaket einzeln ausgewiesen.

Im zweiten Outputbereich werden die Resultate managementgerecht dargestellt. Der zweite Outputbereich ist somit insbesondere für Entscheidungsträger/innen aus Wirtschaft und Verwaltung gedacht, um diesen einen konzisen Überblick über die Auswirkungen verschiedener Erneuerungsvarianten bezüglich des untersuchten Gebäudes zu geben.

Für zwei Referenzfälle und bis zu acht Massnahmenpakete können alle berechneten ökonomischen und ökologischen Indikatoren abgebildet werden. Dies sind insbesondere die Investitionen, die jährlichen Kosten, der gesamte resp. der nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen.

Durch die Nutzung aktueller empirischer Kosten- und Preisdaten werden die Kosteneffizienz und die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen von einem Jahreskosten-Standpunkt aus untersucht. Anhand des Tools kann darüber hinaus der Einfluss von Faktoren wie die Ausgangssituation, Umfang und Kosten von Massnahmen, Verzinsung und Energiepreiserwartungen aufgezeigt werden.

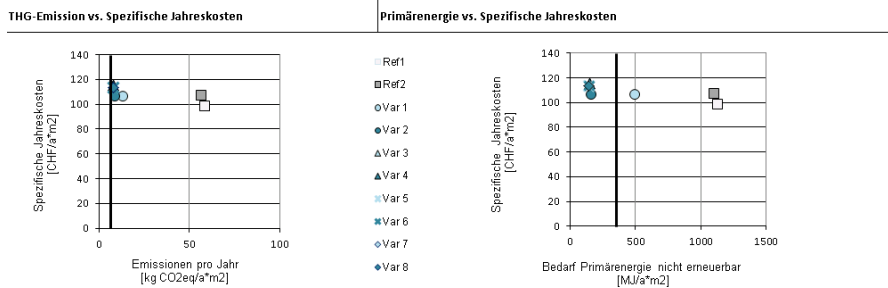
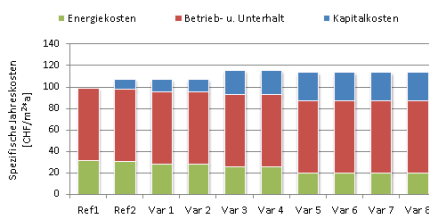
Das Tool stellt den Nutzenden zahlreiche Hilfsmittel zur Verfügung, um die Eingaben möglichst einfach zu halten. So wird beispielsweise der Eingabebereich dynamisch angepasst und es werden nur jene Inputfelder angezeigt, die für das gewählte Gebäude resp. für die gewählte Gebäudeausstattung relevant sind.

In der folgenden Abbildung sind ausgewählte Screenshots aus dem INSPIRE-Tool dargestellt:

Musterhaus		Standort	Beispielw.	Photo laden	Photo löschen
Beschreibung des Projektes					
Farbcode Felder	Auswahl aus Liste	Eingabe durch User	Default-Wert oder abgeleitet aus Angaben, überschreibbar	abgeleitet, nicht überschreibbar	
1. Bestandsaufnahme der Gebäudedaten - IST Zustand					
Gebäudedaten			Belastung und Bedarf		
Energiebezugfläche AE	730	m ²	Wohngebäude: Anzahl Wohnungen	1	
Gebäudeztg IIA	Büro / Verwaltung		Anzahl Behälter Geschosse (ohne Keller):	1	
Konstruktionsweise	VIA massiv		Belastung des Stellengeschosses	nein	
Bauzeitcode	1976 - 1990		Personenbelegung (EPF pro Person)	20	m ²
Ist das Haus freistehend?	JA		Warmwasserbedarf pro m ² und Jahr	25	MJ/m ²
Am des Daches	Stellfach				
Dachtraumausbau	ausbaufähig				
Fläche Dämmparameter und bereits durchgeführte Massnahmen (Gebäudehülle)					
Standardwerte für Flächen	Fläche	Bereits durchgeführte Massnahmen	Flächenanteil [%]	Jahr	U-Wert [W/(m ² *K)]
Dach gegen Aussenluft	268	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.600
Contiböden gegen unbeheizte Räume	0	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.500
Wand gegen Aussenluft	484	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.500
Wand gegen unbeheizte Räume	123	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.500
Wand gegen Erdreich	73	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.500
Boden gegen Aussenluft	0	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.600
Boden gegen Erdreich	0	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.600
Boden gegen unbeheizte Räume	169	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.600
Alle Fenster via SW-Fenster					
Fenster Süd	48	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.700
Fenster Ost	40	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.700
Fenster West	40	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.700
Fenster Nord	24	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.700
Oberlichter, Dachfenster	6	Keine Massnahme / nur Instandsetzung			0.700
Alle Fenster	160		0%		0.700

INSPIRE Tool	Kurzbezeichnung	CRB-Code	Erläuterung	
Markierte Massnahme(n) bis zum Ende übertragen				
2. Effizienzmassnahmen				
	Ref1	Ref2	Var 1	Var
Gebäudehülle				
Fassade				
Massnahmen an der Fassade	Keine Massnahme	Dämmung Kompakt	Instands. Mauerwerk	Inst
Anteil der Fassadenfläche, die von Massnahme betroffen ist			50%	100%
Angestrebtes Effizienzlevel		Minergie		
Typ Dämmmaterial		Steinwolle		
Material der Fassadenbekleidung				
Dämmstärke [cm]		12		
U-Wert Fassade (neu gedämmt)		0.20		
U-Wert der gesamten Fassade	0.50	0.35	0.50	
Kostenenwert (CHF/m ²)		178	46	
Kostenanteil der energetischen Massnahme		100%	100%	
Fenster				
Massnahmen am Fenster	Keine Massnahme	Inst. Fenster	Inst. Fenster	Inst
Anteil der Fenster, die von Massnahme betroffen sind			100%	100%
Angestrebtes Effizienzlevel				
Rahnenmaterial		Holz Standard	Holz Standard	Holz
Sonnenschutzfenster				
g-Wert der neuen Fenster		0.70	0.70	0.70
g-Wert über alle Fenster				
U-Wert der neuen Fenster [W/(m ² *K)]		1.80	1.80	1.80
U-Wert über alle Fenster [W/(m ² *K)]				
Kostenenwert Fenster (CHF/m ²)		40	40	
Kostenanteil der energ. Massnahme Fenster		100%	100%	

Darstellungparameter	Spezifische Jahreskosten
Realzinssatz	3%
Energieeinheit:	MJ
Primärenergie	nur nicht erneuerbare Primärenergie
Nur energiebedingten Teil der Kosten einbeziehen?	ja
Inkl. Graue Energie / graue Emissionen?	ja



Zielwert Emissionen anzeigen:	ja	Zielwert (kg CO2eq/m2a):	6	Zielwert Primärenergie anzeigen:	ja	Zielwert (MJ/m2a):	350
Zielwert Kosten anzeigen:	nein	Zielwert (CHF/m2a):	15	Zielwert Kosten anzeigen:	nein	Zielwert (CHF/m2a):	15

Abbildung 3 Ausgewählte Screenshots aus dem INSPIRE-Tool: Eingabereich Ausgangszustand (oben links); Eingabereich Massnahmen (oben rechts); Outputbereich mit Grafiken (unten)

4. Diskussion

4.5 Diskussion der generischen Berechnungen

Die Analyse der untersuchten Erneuerungsstrategien anhand eines Referenzgebäudes sowie aufgrund von Sensitivitätsuntersuchungen hat zu folgenden Erkenntnissen geführt:

Bei den individuellen Massnahmen kann festgehalten werden, dass hocheffiziente Beleuchtungen und Geräte wirtschaftlich sind und unabhängig von den übrigen Massnahmen empfohlen werden können.

Die Kosteneffizienz der thermischen Verbesserung der Gebäudehülle hängt stark vom Ausgangszustand ab und ist bei bereits vorliegenden Dämmungen knapp oder deutlich nicht wirtschaftlich. Vor allem bei Gebäuden mit energie- und treibhausgasintensivem Energieträger sowie mit geringer Effizienz der Gebäudehülle ist eine solche Verbesserung jedoch wirtschaftlich. Kann die Leistung des Heizsystems auf eine energetisch verbesserte Gebäudehülle abgestimmt werden, ergeben sich kostenreduzierende Synergien. Dies wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit entsprechender Pakete aus, insbesondere bei erneuerbaren Heizsystemen mit hohen Investitionskosten wie etwa einer Wärmepumpe mit Erdsonde. Die mit steigender energetischer Effizienz abnehmenden Grenznutzen und zunehmenden Grenzkosten der Dämmung sind mit den Grenzkosten von zusätzlichem Einsatz erneuerbarer Energie von Fall zu Fall zu vergleichen.

Die Installation einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erweist sich in den hier vorgenommenen Untersuchungen als nicht kosteneffizient und muss daher mit ihren Nutzen hinsichtlich Luftqualität, Feuchtigkeitsschutz und Wohnkomfort begründet werden. Der Einsatz erneuerbarer Energien weist typischerweise weniger stark steigende Grenzkosten auf als Energieeffizienz - Massnahmen an der Gebäudehülle. Die Kosteneffizienz von Wärmepumpen bezüglich Primärenergie- bzw. TGH-Reduktionen hängt stark vom eingesetzten Strom-Mix und der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ab, welche wiederum durch die erforderlichen Vorlauftemperaturen und damit durch die Effizienz der Gebäudehülle beeinflusst werden. Dies ergibt bei einer Massnahmenkombination mit der Gebäudehülle Kostensenkungs- und Synergiepotenziale.

4.6 Diskussion des Tools

Mit dem INSPIRE-Tool steht allen interessierten Kreisen ein Tool zur Verfügung, welches eine relativ einfache Analyse von verschiedenen Massnahmenpaketen in Bezug auf die Zieldimensionen Treibhausgasemissionen, Primärenergie und Kosten erlaubt. Da sich Erneuerungssituationen von Gebäude zu Gebäude stark unterscheiden, leistet das INSPIRE-Tool einen praxisrelevanten Beitrag, um unter Betrachtung der verschiedenen Zieldimensionen und entsprechender Vorgaben Investitionsentscheide optimal vorzubereiten. Aufgrund der zahlreichen Eingabemöglichkeiten und Eingabehilfen verfügt das INSPIRE-Tool über eine hohe Flexibilität in Bezug auf die Anpassung an einen konkreten Einzelfall. Das Tool eignet sich aufgrund der übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse auch als Instrument für interessierte Eigentümer/innen oder Bewirtschafter/innen, die das Tool nicht selbst nutzen, sondern die Erstellung einer entsprechenden Auswertung bei qualifizierten Fachpersonen in Auftrag geben.

5. Ausblick

Die Ergebnisse können weiter vertieft werden, indem für verschiedene Ausgangssituationen und fallspezifische Erneuerungssituationen die Ergebnisse der Strategien miteinander verglichen werden. Die Ergebnisse der Berechnungen wie auch das Tool nehmen keine Gewichtung vor bezüglich der Zieldimensionen Treibhausgasemissionen, Primärenergie und Kosten. Sie liefern allerdings Grundlagen, um die Diskussion darüber zu führen.

Das internationale Projekt INSPIRE wurde im Rahmen des internationalen Forschungsverbunds ERACOBUILD durchgeführt [3, 5]. Die Arbeiten wurden durch das BFE, die Stadt Zürich, die Interessengemeinschaft privater, professioneller Bauherren (IPB) sowie sieben Unternehmen aus der Privatwirtschaft finanziert.

Literatur/Referenzen

- [1] Jakob M, Gross N et al., (2010): Energetische Gebäudeerneuerungen – Wirtschaftlichkeit und CO₂-Vermeidungskosten. Eine Auswertung des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen. TEP Energy, Meier+Steinauer und HSLU i.A. Stiftung Klimarappen. Zürich.
- [2] Ott W, Baumgartner A, Jakob M et al. (2011): CO₂ -Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten. Bundesamt für Energie, Bern.
- [3] Jakob M, Ott W, Bolliger R, Kallio S, Chobanova H, Nägeli C, von Grünigen S, Remmen A, Maneschi D, Mosgaard M, Strandgaard C, Kiss B, Ungureanu V, Botici A, Fülöp L, Talja A (2014): Integrated strategies and policy instruments for retrofitting buildings to reduce primary energy use and GHG emissions (INSPIRE). Final Report.
- [4] von Grünigen S, Bolliger R, Jakob M, Kallio S, Ott W, Nägeli C (2014): INSPIRE-Tool <http://www.energieschweiz.ch/de-ch/wohnen/energierechner/inspire-tool.aspx>
- [5] Jakob M, Kallio S, Ott W, Bolliger R, von Grünigen S, Nägeli C (2014): Integrated Strategies and Policy Instruments for Retrofitting Buildings to Reduce Primary Energy Use and GHG Emissions (INSPIRE) – Generic Strategies for Buildings in Switzerland; Swiss Contribution to the ERA-NET «ERACOBUILD». Final Report.