



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

**Schlussbericht** 20. Oktober 2010

---

# **Design Performance Viewer 2.0**

## Evolution und Weiterentwicklung

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

Professur für Gebäudetechnik, Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut  
Institut für Technologie in der Architektur  
Wolfgang-Pauli-Strasse 15  
CH-8093 Zürich  
[www.gt.arch.ethz.ch](http://www.gt.arch.ethz.ch)

**Autoren:**

Arno Schlüter, ETH Zürich, [schlueter@arch.ethz.ch](mailto:schlueter@arch.ethz.ch)  
Frank Thesseling, ETH Zürich, [thesseling@arch.ethz.ch](mailto:thesseling@arch.ethz.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Charles Filleux

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 153 584 / 102 781

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Abstract

Ziel des Projektes ist die Weiterentwicklung des Design Performance Viewers (DPV), eines Softwarewerkzeuges, welches dem Architekten bereits in der frühen Phase des Entwurfes die Auswirkungen seiner Planung auf den Energie- und Exergieverbrauch und die damit verbundenen Kosten schnell und integriert aufzeigt. Auf der Ebene der Energie- und Exergieberechnungen sollen die statistischen und statischen Berechnungsmodelle des DPV 1.0 durch ein geeignetes Modell für alle Gebäudetypologien ersetzt werden. Um die energetischen/exergetischen Massnahmen ökonomisch bewerten zu können, soll ein adaptives Kostenmodell neu entwickelt und implementiert werden. Die Berechnungsergebnisse sollen durch Visualisierungen schnell und intuitiv interpretierbar gemacht werden, um schnelle Entscheidungen in der Entwurfsphase zu ermöglichen. Die bisherige Software ist stark auf einen bestimmten Editor für die Modellierung des BIM (Building Information Models) zugeschnitten. Durch eine flexiblere, modulare Struktur soll sowohl die Funktionalität wie auch die Flexibilität erhöht und damit die Abhängigkeit von nur einem Modellierungswerkzeug verringert werden und die Erstellung des Modells in unterschiedlichen Werkzeugen möglich sein.

## Ausgangslage

Gebäude sind für bis zu 40% des CO<sub>2</sub> Ausstosses in der Schweiz verantwortlich (Quelle: BAFU). Sie bieten ein enormes Potential für die Reduktion der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ausgehend von der 1-Tonnen CO<sub>2</sub> - Strategie des Energie Science Centers (Quelle: ESC) der ETH Zürich müssen neue Konzepte für Gebäude und den Bauprozess entwickelt werden. Dabei steht neben der Steigerung der Energieeffizienz insbesondere die Entkarbonisierung der Erzeugung von Heizwärme und damit im die drastische Verringerung des CO<sub>2</sub> Ausstosses der Gebäude im Betrieb. Um dies mit architektonisch/gestalterischen Zielen zu verknüpfen ist eine integrierte Gesamtbetrachtung des Gebäudes und seiner Systeme bereits in den frühen Entwurfsphasen notwendig.

## Zielsetzung

Im heutigen Planungsablauf werden 80 % der folgenreichsten Entscheidungen in den ersten 20 % des Planungsprozesses getroffen (Bild 1). Ein wesentlicher Teil der Verantwortung liegt daher bei den Architekten und Planern. Eine nachhaltige Planung muss schon sehr früh den vorrausichtlichen Energieverbrauch und die daraus resultierenden Emissionen mit einbeziehen damit ein wirksames Gesamtkonzept entstehen kann.

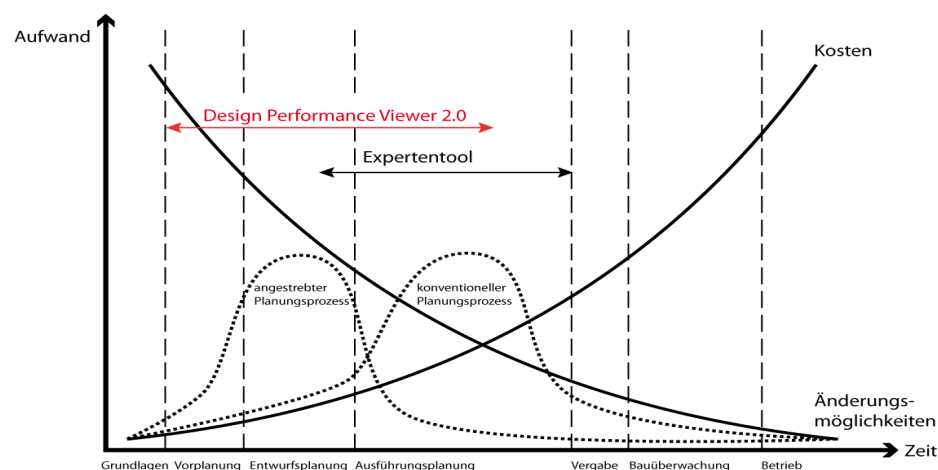


Bild 1: Anwendungsbereich des Design Performance Viewers im Planungsprozess

Dies gilt sowohl für Neubauten als auch für die Sanierung des Bestandes. Eine wichtige Einflussgrösse sind die technischen Systeme im Gebäude. Sie beeinflussen wesentlich seine ökologische und ökonomische Leistungsfähigkeit. Um nachhaltig, d. h. ökonomisch, ökologisch und architektonisch anspruchsvoll zu planen ist es notwendig, dass Performanceanalysen für die Bereiche Energie, Exergie, Kosten und Systeme in die frühe Entwurfsphase integriert werden. Bestehende Softwarewerkzeuge richten sich an den Fachingenieur und damit an den Experten. Sie erfordern ein grosses Fachwissen, sind sehr arbeitsintensiv und nicht in den Entwurfs- und Planungsprozess eingebunden.

Das Ziel dieses Projekts ist daher die Entwicklung eines Softwarewerkzeuges auf Basis eines digitalen Gebäudemodells (Building Information Model, BIM), welches dem Architekten als Nicht-Experten eine Analyse der Energie, Exergie und Kosten in der ersten Entwurfsphase ermöglicht. Dem Architekten werden damit neue Entwurfsparameter zur Verfügung gestellt und eine Bewertung bereits im Entwurf möglich sein. Dies soll grundsätzlich für alle Gebäude, Neubau wie Sanierung, möglich sein. Um die physikalischen Vorgänge im Gebäude präzise zu erfassen ist die Verwendung eines leistungsfähigen Berechnungsmodells notwendig. Im Rahmen dieses Projektes soll das bisher implementierte vereinfachte Berechnungsmodell welches lediglich für Wohngebäude verwendbar ist durch ein physikalisches Modell ersetzt werden. Die bisherige Anbindung an eine bestimmte Software für die Erstellung des Building Information Models engt die Anwendbarkeit und Erweiterbarkeit ebenfalls ein. Die Entwicklung eines modularen Konzeptes für die Verwendung anderer digitaler Gebäudemodelle ist daher ein wesentliches weiteres Ziel des Projektes. Darüber hinaus sollen intuitive Visualisierungen für die Berechnungsergebnisse entwickelt werden die ein schnelles Verständnis der komplexen Zusammenhänge fördern. Mittels eines ebenfalls vereinfacht anwendbaren Kostenmodells sollen die ökonomischen Auswirkungen einer nachhaltigen Planung aufgezeigt werden können. Wichtig bleibt dabei eine einfache und intuitive Anwendung des Programms damit es direkt im Entwurfsprozess verwendet werden kann.

## Projektablauf

### Team

- Frank Thesseling, wiss. Mitarbeiter, Professur für Gebäudetechnik (10.2008 - 03.2010)
- Arno Schlüter, wiss. Mitarbeiter, Professur für Gebäudetechnik (10.2008 – 09.2010)
- Marcel Brülisauer, wiss. Mitarbeiter, Professur für Gebäudetechnik (04.2008 – 09.2009)
- Daren Thomas, Softwareentwickler, Professur für Gebäudetechnik (07.2009 – 09.2010)
  
- Thomas Frank, Abteilungsleiter EMPA (11.2008 – 01.2010)
- Stefan Carl, wiss. Mitarbeiter EMPA (01.2010 – 01.2010)

## Erwartete Ergebnisse

Aufgeteilt in die einzelnen Bestandteile des Forschungsprojektes lassen sich vier verschiedene Arbeitspakete definieren. Die zu erwartenden Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- A1: Für das erste Arbeitspaket wird erwartet, dass ein Rechenmodell eingebunden wird, mit dem schnell und belastbar unterschiedlichste Gebäudeentwürfe physikalisch bewertet werden können. Die Berechnungsergebnisse des Kernes stellen die wesentliche Grundlage für die weiteren Arbeitspakete dar.
- A2: Die Unabhängigkeit von einem bestimmten Editor des Gebäudemodells (BIM) ist das erwartete Ergebnis des zweiten Arbeitspaketes.

- A3: Im dritten Arbeitspaket soll eine einfache und verständliche Visualisierung der komplexen Berechnungsergebnisse erreicht werden.
- A4: Das Ergebnis des vierten Arbeitspaketes ist ein Kostenmodell das je nach Planungsphase und den damit zur Verfügung stehenden Informationen die Investitions- und Betriebskosten berechnet. Die Visualisierung der Berechnungsergebnisse des Kostenmodells wird im dritten Arbeitspaket implementiert.
- Das Gesamtergebnis des Projektes ist ein Werkzeug, welches für den Planer und Architekten bereits in den frühen Phasen des Entwurfes die Einbeziehung verschiedener Performanceparameter (Energie, Exergie, Kosten) ermöglicht. Zum ersten mal wird es damit möglich sein direkt im Entwurfsprozess die Leistungsfähigkeit eines Gebäudekonzeptes, seine ökologischen, ökonomischen aber auch architektonischen Auswirkungen zu überprüfen.

## Erreichte Ziele

### Berechnungsmodelle

Wichtige Teilziele des Projektes war die Einbindung bzw. Entwicklung leistungsfähiger Berechnungsmodelle.

#### Physikalisches Berechnungsmodell

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurde das an der EMPA entwickelte, physikalische Einzonenmodell „Helios XP“ für eine Implementierung in den DPV 2.0 ausgewählt. Wichtigste Voraussetzung für die Auswahl waren die von den Entwicklern des Modells beschriebene Möglichkeit, die Anzahl der Eingabeparameter gering zu halten und damit eine Verwendung in den frühen Phasen im Entwurfsprozess zu ermöglichen. In mehreren Sitzungen mit den Entwicklern der EMPA, Herrn Thomas Frank und Herrn Stephan Carl, wurde das Modell auf seinen Verwendung im Projekt hin untersucht. In einem ersten Schritt wurde ein mögliches Setup der notwendigen Parameter erarbeitet und programmiert. Nach einer eingehenden Beschäftigung mit dem Berechnungskern wurde allerdings die Implementierung aus folgenden Gründen nicht weiter verfolgt. Zum einen war es nach einem besseren Verständnis des Berechnungsmodells fraglich ob nach der Anbindung an das Building Information Model die geplante Berechnungszeit von wenigen Sekunden erreicht werden kann. Zum anderen erfordert die Implementierung und langfristige Verwendung des Berechnungskerns eine stetige Wartung und einen stetigen Support seitens der EMPA. Da eine Weiterentwicklung des Berechnungskerns seitens der EMPA nicht geplant ist wurde in Hinblick auf die weitere Entwicklung des DPV entschieden, auf Helios XP zu. Statt dessen wurde das Berechnungsmodell der SIA 380/1 für die Heizenergie in Kombination mit einem eigenen, zu entwickelnden Berechnungsmodell für Exergie/Anergie und der damit verbundenen Systeme entwickelt bzw. implementiert.

#### Heizenergie: SIA 380.1

Für die Berechnung des Jahresheizenergiebedarfes, einer wesentlichen Kennzahl des Energieverbrauches in der Schweiz, wurde das Berechnungsmodell der SIA (Schweizer Ingenieurs- und Architektenverein) 380.1, Version 2009 verwendet. Es handelt sich um ein quasi-statisches Berechnungsmodell welches monatliche Mittelwerte des Aussenklimas zu Grunde legt. Diese Werte sind für 24 Standorte der Schweiz verfügbar. Zusätzlich sind 12 Standardnutzungen für die Berücksichtigung der internen Lasten durch Menschen und Apparate vorhanden. Das Modell eignet sich sehr gut für die in diesem Forschungsprojekt verfolgten Ziele:

- Wenige Eingabeparameter, dadurch einfache Handhabung
- Berechnung des für die Exergieanalyse notwendigen Heizenergiebedarfes

- Vereinfachte Berücksichtigung von Materialien über u- und g-Werte
- Vereinfachte Berechnung auf empirischer Basis, dadurch schnelle Berechnung möglich
- Breiter Einsatz in der Praxis, u.a. notwendig für den Wärmeschutznachweis, dadurch hohe Akzeptanz und Vergleichbarkeit
- Gute Möglichkeit der Validierung durch zahlreiche Musterbeispiele

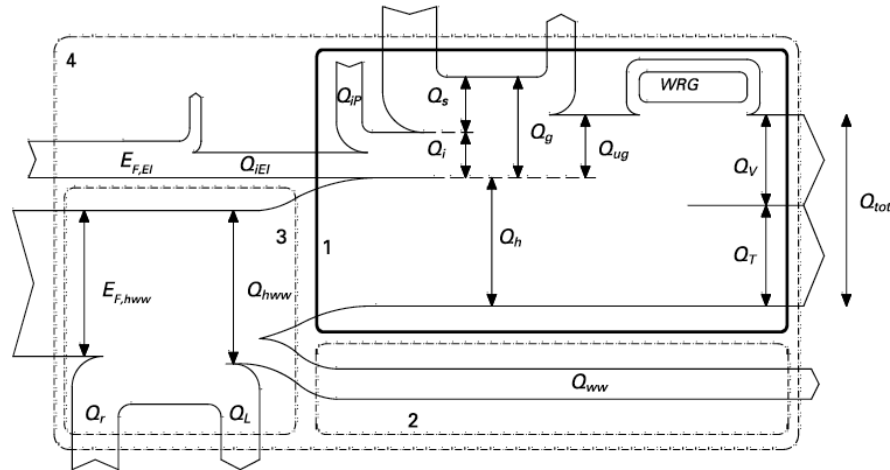


Bild 2: Implementiertes Berechnungsmodell SIA 380.1 (Quelle: SIA)

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das SIA Berechnungsmodell für den DPV angepasst, in Softwarecode übersetzt und als eigenständiges Modul für den DPV umgesetzt. Alle Informationen zur Geometrie, Konstruktion und Material werden automatisch aus dem BIM entnommen. Änderungen in der Form, Konstruktion, Ausrichtung oder den Öffnungsflächen werden sofort berücksichtigt und angezeigt. In herkömmlichen, auf Tabellenkalkulationen basierenden Berechnungswerkzeugen benötigt die Änderung der Daten nach einer Änderung im Entwurf je nach Umfang der Änderung im besten Fall einige Minuten, im schlechtesten Fall mehrere Stunden. Im DPV liegt der Aufwand der Neuberechnung eines durchschnittlichen Gebäudes im Bereich von wenigen Sekunden da alle notwendigen Informationen konsistent aus dem BIM bezogen werden. Validiert wurde die Umsetzung des Berechnungsmodells SIA 380.1 im DPV mittels verschiedenen erhältlichen und zugelassenen Berechnungswerkzeugen. Bei korrekter Modellierung des Gebäudemodells d.h. bei gleichen Parametern der Gebäudegeometrie Flächen, U-Werte, etc. sind die Ergebnisse identisch.

## Exergie

Das Berechnungsmodell SIA 380.1 für den Jahresheizenergiebedarf diente als Grundlage für die Entwicklung eines eigenen Exergieberechnungsmodells. Das Berechnungsmodell entstand in Zusammenarbeit mit Teilnehmern der Professur Gebäudetechnik am Annex49 der Internationalen Energie Agentur (IEA). Im Vordergrund stand die Berechnung der Exergieverluste über die Heizkette unter Berücksichtigung der verfügbaren Anergiequellen (Bild 3) und die daraus folgende Berechnung des Gesamtexergiebedarfes für die Heizung sowie pauschalisierte Werte für die Aufbereitung des Warmwassers und des elektrischen Stroms für die Nutzung.

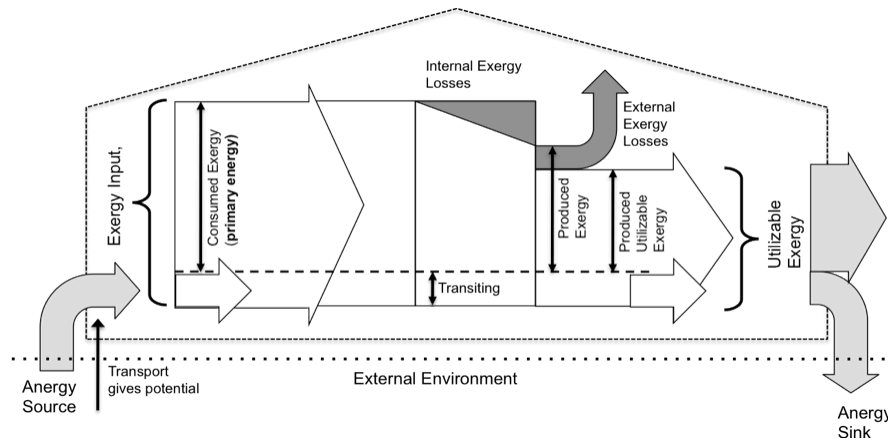


Bild 3: Nutzbarer Exergie in Gebäuden unter Berücksichtigung der Energiequellen (Quelle: Shukuya, Ahern)

Als erweiterte Betrachtung der Energieberechnung, welche den Bedarf an Energie eines Gebäudes für die Kompensation der Verluste ermittelt, erlaubt das Exergiemodell die Definition und Analyse der Versorgung durch technische Systeme unter Berücksichtigung deren Effizienz im Umgang mit Exergie. Das entwickelte und implementierte Modell erlaubt für den Planer detailliertere Aussagen z.B. ob die Wärmeemission über die Fussbodenheizung für eine Kompensation der Wärmeverluste über die Konstruktion ausreicht bzw. welche Vorlauftemperatur und Bodenfläche notwendig ist. Darüber hinaus lassen sich durch die Definition der Systeme und Systemparameter die zu erwarteten CO<sub>2</sub> Emissionen (als CO<sub>2</sub>-Äquivalente) berechnen.

### Kosten

Für die Bewertung von ökonomischen Kriterien war die Entwicklung eines vereinfachten Kostenmodells im Rahmen des Forschungsprojektes vorgesehen. Nach Gesprächen mit dem CRB wurde der Kostenkatalog eBKP 2009 (Quelle: CRB) als Grundlage für ein vereinfachtes, adaptives Kostenmodell ausgewählt. Der Kostenkatalog betrachtet allerdings alle für die Erstellung eines Gebäudes relevanten Elemente in der gleichen, detaillierten Auflösung. Für die Berücksichtigung von energie- und emissionsrelevanten Planungsparametern in frühen Planungsphasen wurde das Konzept eines adaptiven Kostenmodells entwickelt (Bild 4). Die Grundidee ist, analog zu Energieberechnung, die Vereinfachung der für eine energetisch-ökonomische Betrachtung notwendigen Eingaben.

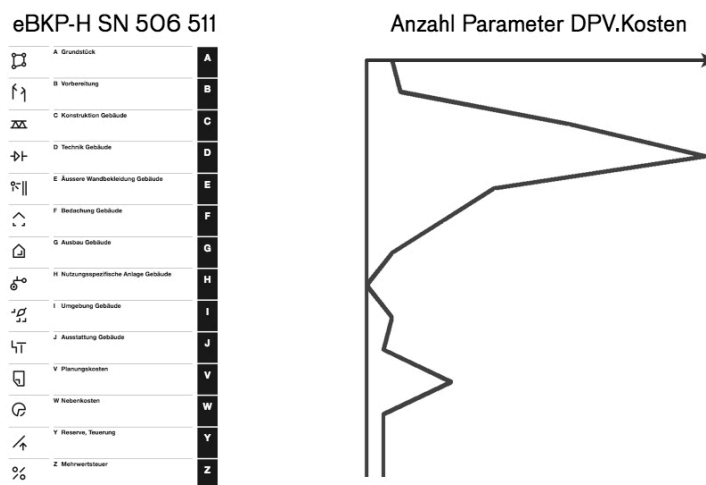


Bild 4: Konzept des adaptiven Kostenmodells

So werden die benötigten Angaben für wenig relevante Elemente wie z.B. des Aushubs nur sehr grob behandelt. Energierrelevante Elemente z.B. die technischen Systeme der Versorgung können hingegen in einer feineren Auflösung beschrieben und deren Kostenfaktoren detaillierter angepasst werden. Für die notwendigen Kennwerte wurden ausführliche Interviews mit drei Kostenplanern aus der Praxis durchgeführt und ausgewertet. Anschliessend wurden die Durchschnittswerte sowie Bandbreiten ermittelt. Für die technischen Systeme wurden zusätzlich Kostenfunktionen erstellt. Alle Werte und Funktionen wurden in einer Tabellenkalkulation erfasst, programmiert und an einem Testgebäude erprobt. Eine Implementation in den DPV ist vorgesehen und im Framework angelegt. Im Rahmen des Projektes konnte dies durch den Weggang des hierfür vorgesehenen wissenschaftlichen Mitarbeiters allerdings mit den vorhandenen Ressourcen nicht mehr umgesetzt werden.

## Softwarearchitektur

Ziel des zweiten Arbeitspakets war die Verringerung der Abhängigkeit des DPV von einer bestimmten Software für die Erstellung des BIM, in diesem Fall Autodesk Revit, sowie die Entwicklung einer modularen Softwarearchitektur. Diese ist notwendig für die Implementation der geplanten Berechnungsmodelle aber auch um für eine zukünftige Erweiterbarkeit zu gewährleisten. Im Laufe des Projektes stellte sich die geplante Umstrukturierung allerdings in grossen Teilen als Neuentwicklung heraus, welche mit einem wesentlich höheren Aufwand verbunden war als angenommen. Das im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte Softwareframework (Bild 5) ermöglicht nun die Entwicklung und einfache Implementation von eigenständigen Modulen für die Berechnung, deren Verknüpfung mit dem BIM und die Entwicklung von eigenständigen, auf die jeweiligen Berechnungen zugeschnittene Visualisierungen. Darüber hinaus ermöglicht das Framework die gewünschte, grössere Unabhängigkeit vom proprietären BIM-Modellierungsprogramm Autodesk Revit. Dies ist insbesondere wichtig für eine zukünftige Entwicklung von weiteren Modulen aber auch die Anbindung an andere Formen der Eingabe des Gebäudemodells, z.B. über eine Webseite.

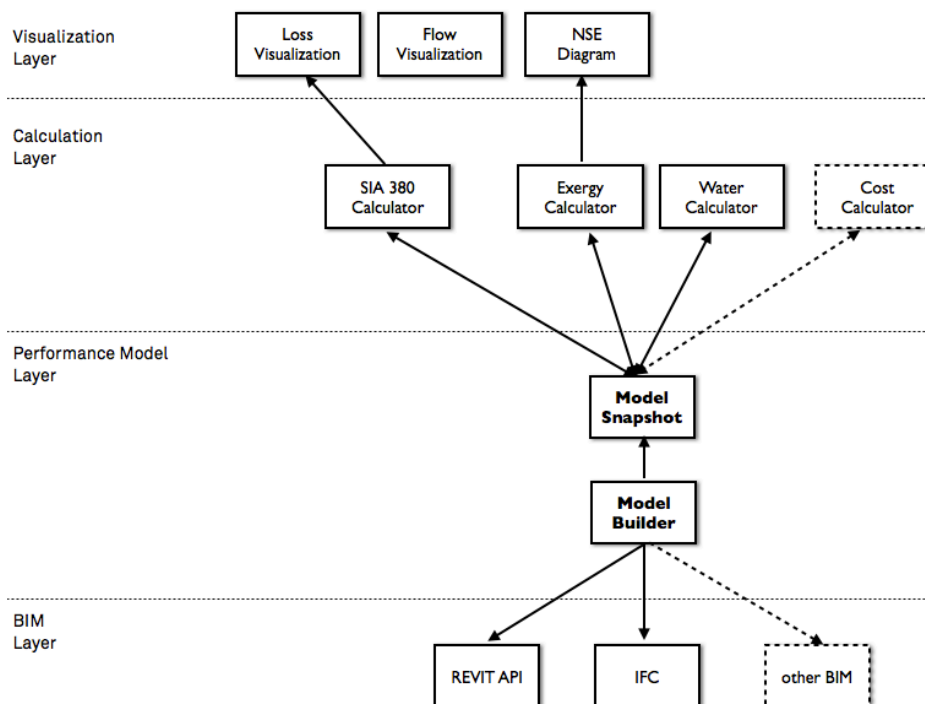


Bild 5: Realisiertes Softwareframework des DPV 2.0

Wovon im Projekt Abstand genommen wurde ist die Weiterentwicklung des DPV als vollständig eigenständige Software, d.h. unabhängig von einer BIM-Modellierungssoftware. Dies würde eine Entfernung vom eigentlichen Arbeitswerkzeug des Planers bedeuten. Exporte und Importe von Planungsinformationen von der einen in die andere Software würden das Risiko des Informationsverlustes sowie den Wegfall der direkten, bidirektionalen Beziehung zwischen Berechnung / Beurteilung und Entwurf bedeuten.

## **Performancemodell**

Ein wesentliches Element der realisierten Softwarearchitektur ist die Entwicklung eines eigenständigen, internen Performancemodells (siehe Bild 5). Das Performancemodell bezieht hierfür nur die für die Berechnungsmodule relevanten Informationen aus dem Building Information Model. Zu jedem Zeitpunkte des Entwurfes besteht ein sog. „Models Snapshot“, ein virtuelles Abbild der relevanten Informationen die zum jeweiligen Zeitpunkt zur Verfügung stehen. Je nach Stand der Informationen im Modell sind unterschiedliche Berechnungen möglich. Der Vorteil ist die Reduktion der grossen Anzahl der verfügbaren Information auf die nur jeweils notwendigen, was sich direkt in der Berechnungsgeschwindigkeit niederschlägt. Ein weiterer Vorteil ist die stufenweise Berechnung. Mit der Zunahme der Informationen im Entwurf und damit im Model sind zunehmend mehr Berechnungen und damit detaillierter Aussagen über die Performance des Gebäudes möglich. Dies steht im Gegensatz zu vielen herkömmlichen Berechnungsprogrammen die erst mit der Eingabe aller Daten eine Berechnung ermöglichen. Diese stehen aber in den frühen Phasen des Planungsprozesses oft noch nicht zur Verfügung.

## **Visualisierungen**

Ein wesentlicher Schwerpunkt des Forschungsprojektes stellt die Weiter- und Neuentwicklung von Visualisierungen für die Große Anzahl von Informationen und Ergebnisse dar. Dies ist wesentlich für das Verständnis der Zusammenhänge und der Berücksichtigung in Entwurf und Planung. Die Wirksamkeit der Visualisierungen wurde in der Anwendung in konkreten Projekten der Studierenden aber auch im durchgeführten Praxistest untersucht und die Ergebnisse für die Weiterentwicklung berücksichtigt. So waren Diagramme wie das Spinnendiagramm, welche absolute Zustände mit einer eindeutigen Form aufzeigen, leichter zu verstehen als relative Diagramme wie z.B. das Energieflussdiagramm. Mit dem NSE Diagramm wurde erstmals auch eine quantitative Sicht auf den Planungsprozess möglich.

## **Energie**

Für den DPV 2.0 wurden die ursprünglichen Visualisierungen der „Energiespinne“ sowie des Energiefluss- oder Sankeydiagramms weiterentwickelt. So können nun zwei verschiedene Zustände direkt verglichen werden. Dies können zwei Entwurfsschritte aber auch zwei verschiedene Varianten sein.

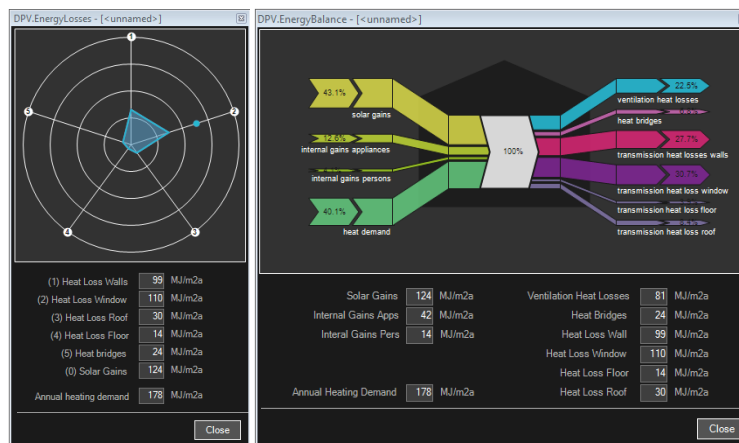


Bild 6: Spinnendiagramm und Energieflussdiagramm im DPV

## NSE Diagramm

Für die Darstellung des Einflusses von Massnahmen in Bezug auf den Exergiebedarf und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emission ist das NSE Diagramm (NSE = Non-Sustainable Exergy) entwickelt worden (Bild 7). Es zeigt den jeweiligen Zustand des Entwurfes sowie vorherige Zustände als Position auf zwei Achsen. Auf der x-Achse ist dabei der Gesamtexergiebedarf für Heizen, Elektrizität und die Erzeugung von Warmwasser kWh/m<sup>2</sup>a verortet, auf der y-Achse die Emissionen in kgCO<sub>2</sub> Äquivalent/kWh. Die Kurven zeigen die Gebiete von 1, 4, und 12 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>a an. Das Zielgebiet einer Planung gemäss 1-Tonnen CO<sub>2</sub> Strategie des ESC ist im Bereich von 1 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>a definiert. Dieser Zielbereich kann durch Massnahmen in zwei Richtungen erreicht werden: die Verringerung des Exergiebedarfes, z.B. durch die Verringerung von Wärmeverlusten (Bewegung auf der x-Achse) oder die Verringerung der Emissionen für die Exergieerzeugung (Bewegung auf der y-Achse). Für bestehende Gebäude kann auf dem NSE Diagramm ein Transformationspfad vom Ursprungszustand über verschiedene Sanierungsschritte (z.B. Dämmung, Austausch des Wärmeerzeugers) aufgezeigt werden.

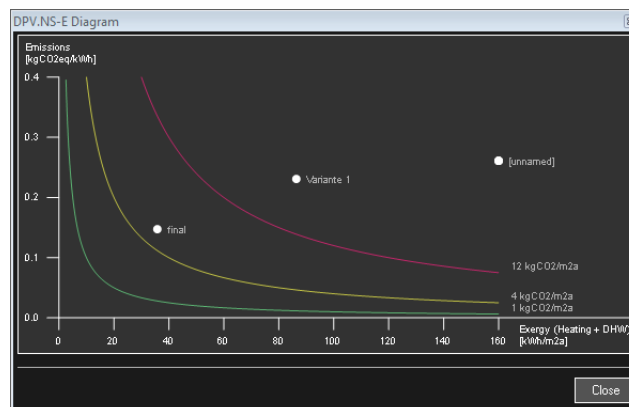


Bild 7: NSE Diagramm im DPV

## Kosten

Für die energiebezogenen Kosten wurde eine ähnlich intuitive Visualisierung wie für Energie und Exergie entwickelt. Ziel war hier, sowohl die unterschiedlichen Kostenbereiche aufzuzeigen und deren Anteile an den Gesamtkosten aufzuzeigen wie auch die Abhängigkeiten von Einflussfaktoren darzustellen.

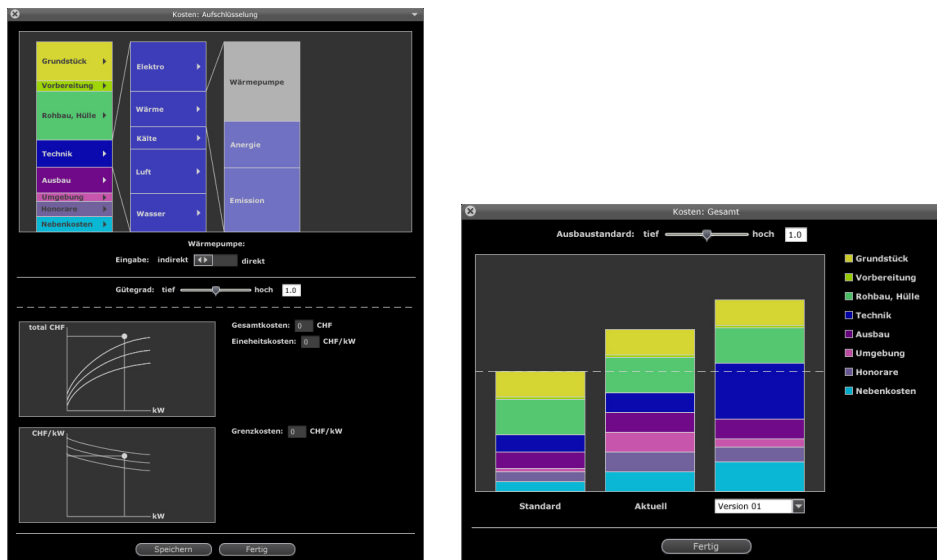


Bild 8: Kostendiagramme und Kostenfunktionen, Gesamtsicht

## Potentialvisualisierungen

Neben der Visualisierung des Ist-Zustandes des Building Information Models wurden auch Potentialvisualisierungen konzeptionell entwickelt und mit Anwendern diskutiert (Bild 9).

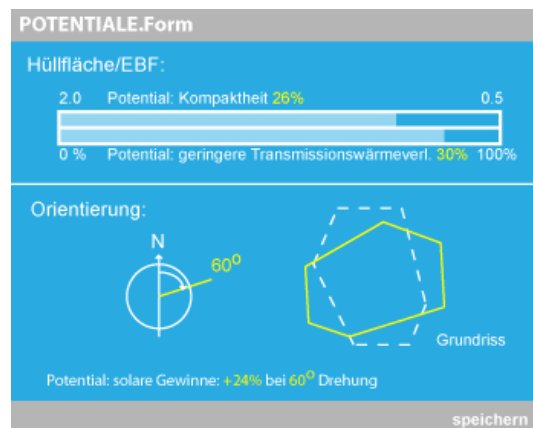


Bild 9: Potentialanalyse Form

Der wesentliche Unterschied dieser Visualisierungsform ist, dass nicht nur der derzeitige Stand aufgezeigt wird, sondern auch der Spielraum für den Planer, diesen Wert zu beeinflussen bzw. vorhandene Potentiale auszuschöpfen. Die Visualisierung von Potentialen erleichtert es dem Planer, den Spielraum einer Optimierung schneller zu erfassen. Allerdings erfordert die Einschätzung des Potentials gleichzeitig eine Beurteilung der Situation, d.h. eine Definition des Spielraumes im spezifischen Fall. Dies macht die Einbettung von Kenn- und Grenzwerten in Hinblick auf mögliche Massnahmen in die Software notwendig und stellt damit eine wesentliche höhere Herausforderung für eine Umsetzung dar. Im Bereich der Künstlichen Intelligenz werden solche Ansätze im Bereich der Expertensysteme eingeordnet.

## Nationale Zusammenarbeit

- EMPA: Implementation / Erforschung physikalischer Berechnungsverfahren. Vereinfachung im Eingabefile von Helios XP für eine möglichst einfache Berechnung. Eine konstruktive Zusammenarbeit führte zu einer massgeblichen Vereinfachung des Datenfiles für Helios XP. Die Zusammenarbeit wurde in 2009 aus o.g. Gründen abgeschlossen.

- SIA: Mitwirkung in der Initiative Energie Effizienz (IEE) – Verwendung des DPV für die Erstellung und Visualisierung der Methode des Transformationspfades, Einbettung in die Praxis als ein beispielhafter methodischer Ansatz. Informative Zusammenarbeit und ein intensiver Erfahrungsaustausch mit Planern aus der Praxis von 2008 bis 2010. Das NSE-Diagramm ist derzeit Bestandteil des SIA-Kurses „Leadership in der Gebäudesanierung“
- CRB: Evaluierung und Kooperation mit dem CRB für die Verwendung des eBKP für die Entwicklung und Umsetzung des adaptiven Kostenmodells auf Grundlage eines Building Information Models (BIM).
- Kostenplaner: Zusammenarbeit mit Kostenplanern aus der Praxis für die Erstellung des adaptiven Kostenmodells.

## Abschluss

### Nutzerstudien

Die prototypische Software wurde mit Studierenden verschiedener Hochschulen in der praktischen Anwendung in Studienprojekten erprobt. Parallel wurde ein Anwendertest mit 15 Architektur- und Ingenieurbüros in Deutschland und der Schweiz durchgeführt. Hierbei konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden die Aufschluss sowohl über den grundsätzlichen Ansatz wie auch auf Änderungs- und Verbesserungspotentiale geben.

### Studierende

Verschiedene Versionen des DPV 2.0 wurden in folgenden Workshops, Entwurfsstudios und Kursen angewendet:

- 09.2008 - 02.2009, Vertiefungsfach LowEx+Arch, ETH Zürich
- 03.2009, Workshop Berner Fachhochschule Architektur, Prof. Albin Zellweger
- 04.2009, Seminarwoche LowEx+Arch: Retrofit, ETH Zürich
- 09.2009 - 12.2009, Vertiefungsfach LowEx+Arch, ETH Zürich
- 02 - 04.2010, Projektstudio Hochschule für Technik und Architektur Luzern, Prof. Dr. Manfred Breit
- 02 - 04.2010 Projektstudio Berner Fachhochschule Architektur, Prof. Albin Zellweger

### Anwender aus der Praxis

Von Januar 2010 bis April 2010 wurde mit 15 ausgewählten Architektur- und Ingenieurbüros in Deutschland und der Schweiz ein Anwendertest durchgeführt. Der DPV wurde dabei für Testobjekte aber auch in konkreten Projekten verwendet. Unter den Teilnehmern des Anwendertests sowie den Studierenden des Projektstudios an der Berner Fachhochschule und der HTA wurde anschliessend eine elektronische Befragung durchgeführt. Von den 50 verschickten Fragebögen wurden 12 beantwortet. Die Ergebnisse sind daher nicht zwingend repräsentativ. Dennoch sollen hier die wichtigsten Antworten hier wiedergegeben werden:

- 34% der Teilnehmer brachten bereits Erfahrung in der energetischen Bewertung / Berechnung von Gebäuden mit.
- Die Berechnungen des DPV (Energie) konnte von 73% der DPV Anwender teilweise oder vollständig nachvollzogen werden.
- Die verwendeten Visualisierungen waren für 64% der DPV Anwender vollständig nachvollziehbar, für 36% teilweise.
- 55% der DPV Anwender bejahten die Frage, ob ein Tool wie der DPV die Arbeitsweise / Arbeitsprozesse der Teilnehmer verändert hat bzw. das Potential dazu hat. Auf die Frage,

wie ein Tool wie der DPV den Arbeitsprozess verändert, nannten 30% der DPV Anwender „ein besseres Verständnis für Energie im Gebäude“, 25% nannten die Möglichkeit, „Entwurfsvarianten durchzuspielen bzw. den Entwurfs abzustimmen“.

## Publikationen, Vorträge, Berichte

### Wissenschaftliche Publikationen

In mehreren Architekturzeitschriften, so z.B. in der Zeitschrift Hochparterre, Modulor und ETH Life wurde über das Projekt Design Performance Viewer berichtet. Darüber hinaus wurden die folgenden wissenschaftlichen Publikationen im Rahmen des Projektes veröffentlicht.

1. Schlueter, A., Thesseling, F. *Balancing Design and Performance in Building Retrofitting – a Case Study Based on Parametric Modeling*. in ACADIA 2008 - Silkon and Skin. 2008. Minneapolis, USA.
2. Schlueter, A., Thesseling, F. *Building Information Model Based Energy/Exergy Performance Assessment in Early Design Stages*. Automation in Construction, 2008.
3. Thesseling, F., Schlueter, A. *Energy and Exergy Performance as Parameters in Architectural Design Sketching - a Case Study*. in Proceedings of the 25th Annual Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe. 2008. Antwerpen.
4. Schlueter, A., Thesseling, F., Meggers, F. *Design Performance Viewer: a BIM Application Using Exergy Analysis (Poster)*. in The Future for Sustainable Built Environments: Integrating The Low Exergy Approach. 2009. Heerlen, NL.
5. Schlueter, A., *Integrierte Analysen für bessere Gebäude*, in Intelligent Bauen, 2009.
6. Schlueter, A., Thesseling, F., Meggers, F., *DPV*, in IEA Annex 49, 2009.

### Webseite [www.designperformance.net](http://www.designperformance.net)

Für den Abschluss des Forschungsprojektes wurde eine Projektwebseite unter [www.designperformance.net](http://www.designperformance.net) eingerichtet. Auf der Webseite finden sich einführende Information und Zusammenfassungen sowie der Download der finalen Version des DPV 2.0 (SIA 380.1 / Exergie). Ebenso findet sich ein Handbuch zur Benutzung des DPV in deutscher Sprache. Die Seite soll darüber hinaus als Austauschplattform zum Thema Energie / Exergieperformance im architektonischen Entwurf weitergeführt werden.

### ETH Spinoff KEOTO AG

Für die professionelle Anwendung der entwickelten Methoden und Werkzeuge in konkreten Bauprojekten sowie deren Weiterentwicklung ist im September 2009 von Frank Thesseling und Arno Schlüter der ETH-Spinoff KEOTO AG gegründet worden.

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Rahmen des Projektes wurde die bestehende Grundlage des Design Performance Viewers (DPV) wesentlich weiterentwickelt. Die Ziele des AP1 wurden im Verlauf des Projektes angepasst, d.h. auf die Implementation des physikalischen Berechnungskernes wurde aus o.g. Gründen verzichtet, dafür wurde das Berechnungsmodell der SIA 380.1 sowie ein eigenes Exergieberechnungsmodell implementiert. Der Aufbau des Programmes in

einer neuen Softwarearchitektur nahm ein Grossteil der geplanten Ressourcen in Anspruch, ermöglicht allerdings ein wesentlich bessere Funktionalität sowie eine höhere Flexibilität für zukünftige Anbindungen an weitere Modelle, z.B. über das Austauschformat IFC oder eine Webseite. Die in AP2 formulierte, grössere Unabhängigkeit von einem bestimmten BIM-Editor konnte auf diese Weise umgesetzt werden. Die in AP3 formulierte Weiter- bzw. Neuentwicklung der Visualisierungen wurde umgesetzt, bestehende Visualisierungen verbessert und neue Diagrammtypen entwickelt. Das adaptive Kostenmodell als Bestandteil des AP 4 wurde konzeptionell entwickelt und die relevanten Werte mittels Befragungen von Kostenplanern in der Praxis erarbeitet. Entgegen des formulierten Zieles wurde es allerdings im Rahmen des Projektes noch nicht in die Software integriert, steht allerdings für eine Berechnung in einer Tabellenkalkulation zur Verfügung.

Der DPV 2.0 konnte durch die konkrete Anwendung mit Studierenden und Büros aus der Praxis ausgiebig auf seine Funktionalität getestet werden. Die Validierung der Berechnungen wurde anhand von Testgebäuden im Vergleich mit anderen erhältlichen Berechnungswerkzeugen auf Basis von Tabellenkalkulationen durchgeführt. Bei korrekter Geometrie und semantischer Zuordnung im BIM sind die Berechnungsergebnisse des DPV identisch mit den Berechnungen in anderen Programmen. Entstehende Abweichungen sind oftmals auf Fehler im konsequenten Aufbau des BIM zurückzuführen bzw. auf besondere geometrische Situationen die vom Programm nicht zweifelsfrei zugeordnet werden können, so z.B. bei komplexen Geometrien. Um auf solche Fehler hinzuweisen ist ein erheblicher Aufwand in die Fehlererkennung und entsprechende, weiterführende Hinweise betrieben worden. Da die meisten Anwender noch über wenig Erfahrung mit der Erstellung eines BIM verfügten war hier zu Anfang eines Workshops oder Seminars ein gewisser Schulungsaufwand zu leisten. Im Laufe des Projektes hat sich aber schon eine zunehmende Verbreitung der Idee und zunehmend konkreten Erfahrungen bemerkbar gemacht.

Über die o.g. Publikationen sowie durch zahlreiche Vorträge wurde der DPV einer breiten Fachöffentlichkeit vorgestellt. Das Feedback war dabei in grossem Masse positiv, oftmals kam schnell der Wunsch nach weiteren Berechnungen und Visualisierungen auf. Eine interessante Weiterentwicklung stellt z.B. die Implementation von Berechnung der grauen Energie / grauen Emissionen dar. Da das BIM bereits über alle relevanten Massen sowie Materialeigenschaften verfügt und diese mit dem DPV bereits ausgelesen werden wäre dies, eine entsprechende Berechnungsgrundlage vorausgesetzt, aller Voraussicht nach auch gut realisierbar und ein spannender nächster Schritt in der Entwicklung.

## Referenzen

- 1 Bundesamt für Umwelt BAFU, [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)
- 2 Energy Science Center ESC, [http://www.esc.ethz.ch/box\\_feeder/StrategyE.pdf](http://www.esc.ethz.ch/box_feeder/StrategyE.pdf)
- 3 Annex 49 – *LowExergy Systems for High-Performance Buildings and Communities*, <http://www.annex49.com>
- 4 Shukuya, M.; Hammache A. *Introduction to the Concept of Exergy—For a Better Understanding of Low-Temperature-Heating and High-Temperature-Cooling Systems*, VTT research notes, 2158, (VTT, Espoo, Finland, 2002).
- 5 Ahern, J.E., *The Exergy Method of Energy and Systems Analysis*. (Wiley, New York, 1980)
- 6 CRB, <http://www.crb.ch/go/crbinternet/3790/de/DesktopDefault.aspx>