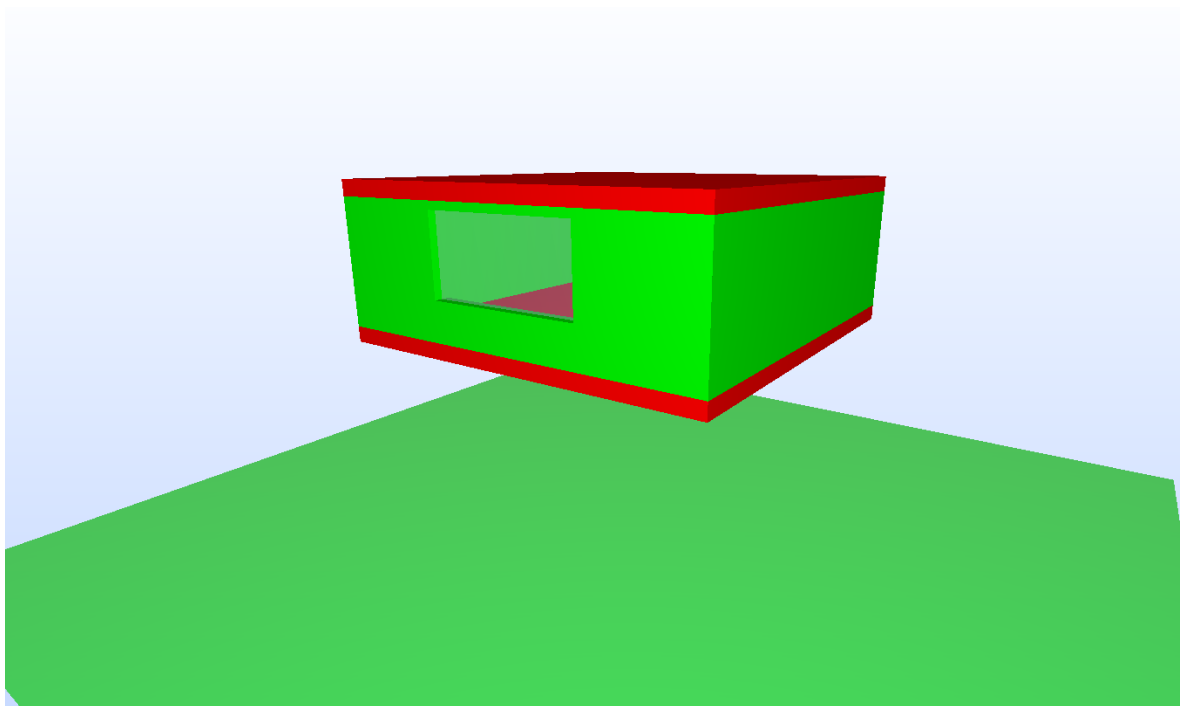


Bericht

Toolvergleich - Plancal Nova, Lesosai, SIA TEC-Tool



Impressum

Auftraggeber

E4Tech Software SA
Ave. Juste-Olivier 2
1006 Lausanne

Trimble Switzerland GmbH
Plancal a Trimble Brand
Seestrasse 5a
8810 Horgen

Hochschule Luzern
Reto Gadola
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Auftragnehmer

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Verfasser

Johannes Frey ZIG
Reto Gadola ZIG

SAP-Nr.

1100487

Dateiname

r_20150423_BerichtToolvergleich_Korr.docx

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Status	Änderungen und Bemerkungen	Bearbeitet von
Nr. 1	19.11.2014	Entwurf	Bericht erstellt	Johannes Frey
Nr. 2	17.03.2015	Schluss-entwurf	Der Entwurf wurde von allen beteiligten gelesen und kommentiert. Im vorliegenden Dokument wurden alle Rückmeldungen konsolidiert.	Reto Gadola
Nr.3	24.04.2015	Freigabe	Kleinere Anpassungen	Reto Gadola

Zusammenfassung

Der Leistungs- und Energiebedarf klimatisierter Gebäude wird in der Schweiz nach Norm SIA 382/2 [7] berechnet. Für einfache Berechnungen ist im Merkblatt SIA 2044 [23] ein vereinfachtes, dynamisches Rechenmodell beschrieben. Dieses einfache Rechenmodell ist zurzeit in den Programmen Plancal Nova, Lesosai und SIA TEC-Tool umgesetzt. Leider existiert zum einfachen Rechenmodell nach Merkblatt SIA 2044 keine Validierung. Um mehr Sicherheit zu erlangen, wurden die drei Programme untereinander verglichen und das SIA TEC-Tool nach den Normen EN 15255 [25], EN 15265 [26] und EN ISO 13791 [27] validiert. In einem zweiten Schritt wurde ein Gebäudebeispiel (ein Betonbunker) in allen Programmen eingegeben und die Resultate verglichen.

Die Validierung nach den genannten EN-Normen ist aufwendig, vor allem die Integration der speziellen Klimadaten. Aus diesem Grunde wurde nur das SIA TEC-Tool berücksichtigt. Das Programm hat die Validierung nach den Normen EN 15265 [26] und EN ISO 13791 [27] in der höchsten Klasse bestanden, nach EN 15255 [25] hingegen nicht bestanden. Bis jetzt wurde die Ursache noch nicht gefunden.

Im zweiten Schritt wurde in allen drei Programmen ein sehr einfacher Raum, ein Betonbunker, eingegeben und die Resultate verglichen. Hier zeigten sich zwei wesentliche Schwierigkeiten:

1. Die Eingabe-Oberflächen der Programme sind sehr unterschiedlich. Der Abgleich der Eingabedaten ist aufwendig.
2. Es werden nur Zwischenresultate der umfangreichen Berechnung ausgegeben. Bei Abweichungen ist die Fehlersuche nur anhand der Resultate schwierig.

Der Vergleich der drei Programme zeigt bei der Raumwärme eine sehr gute Übereinstimmung. In einem nächsten Schritt sollen auch die Klimakälte und die HLK-Anlagen verglichen werden. Der Vergleich soll mit einem Verwaltungsgebäude abgeschlossen werden.

Inhaltsverzeichnis

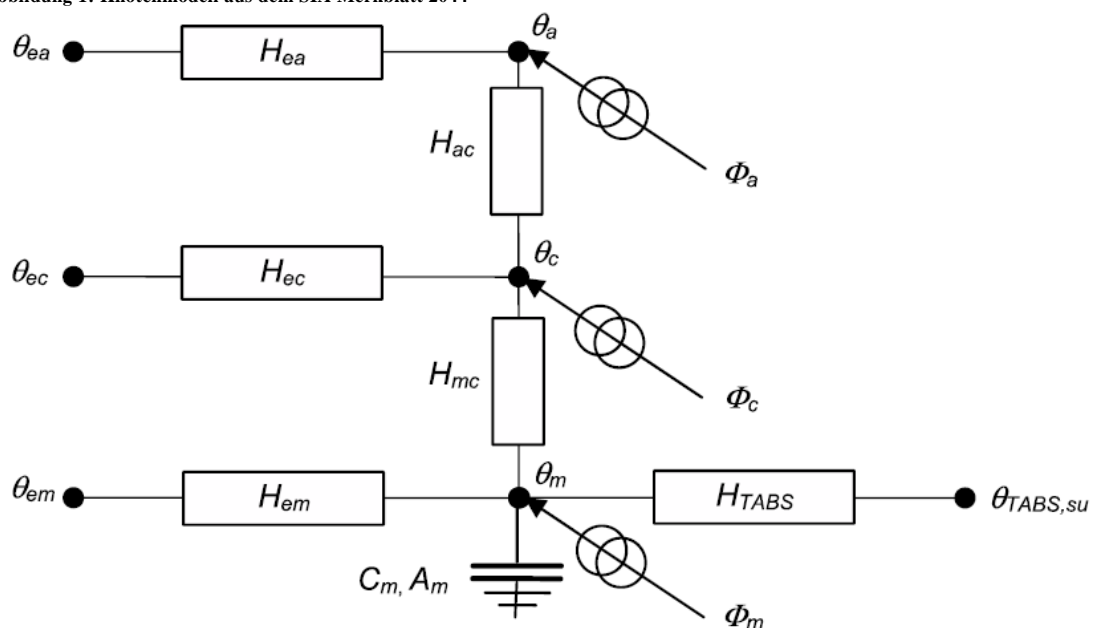
1. Ausgangslage	5
1.1. SIA TEC-Tool.....	5
1.2. Nova (Plancal)	7
1.3. Lesosai (E4Tech Software SA)	8
2. Aufgabe / Ziel	9
2.1. Schwierigkeiten.....	9
2.1.1. Faktor Netto- / Bruttofläche.....	9
2.1.2. Emission / Absorption Boden	9
2.1.3. Konvektiver Anteil Wärme- / Kälteabgabesysteme.....	10
2.1.4. Regelgenauigkeit	10
2.1.5. h innen / h aussen	10
2.2. Unterschiede Auslegung.....	10
2.2.1. Beleuchtung.....	10
2.2.2. Nettoflächen des Raumes A_T	11
2.2.3. Weitere Unterschiede	11
3. Resultate / Analysen.....	12
3.1. Validierungen nach den EN-Normen.....	12
3.1.1. EN ISO 13791	12
3.1.2. EN 15265.....	13
3.1.3. EN 15255.....	14
3.2. Bunker-Beispiel	15
4. Fazit	18
5. Ausblick.....	18
6. Literaturverzeichnis	18

1. Ausgangslage

Seit 2011 gibt es die Norm SIA 382/2 [7] und das SIA Merkblatt 2044 [23], welche das Standardberechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf klimatisierter Gebäude beschreibt. Darin werden Heiz- und Kühlleistung im Stundenschnitt berechnet. Als mathematische Grundlage wird ein Knotenmodell mit einer Kapazität und fünf Widerständen benutzt (siehe Abbildung 1). Die Komplexität der Berechnungen und die Vielfalt der Parameter resultieren in aufwändigen und umfangreichen Berechnungen, die nicht mehr per Hand durchgeführt werden können. Zudem ist es notwendig, die Leistungen pro Raum für 8760 Stunden zu berechnen. Für weitere Informationen siehe SIA Merkblatt 2044 [23].

Zurzeit gibt es in der Schweiz drei Softwarelösungen, die das vereinfachte Verfahren (SIA Merkblatt 2044) umgesetzt haben. Dies sind: Nova der Firma Trimble (Plancal), Lesosai von e4Tech Software SA und das SIA TEC-Tool vom SIA (an der Hochschule Luzern entwickelt). Bislang fehlt eine einheitliche Methode, die Ergebnisse dieser Programme zuverlässig zu überprüfen und zu validieren. Es gibt zwar Normen wie EN ISO 13791 [27], EN 15255 [25] und EN 15265 [26], die zu den darin vorgestellten Berechnungsmodellen Validierungsprüfungen vorstellen. Diese Validierungen berücksichtigen aber nur einen kleinen Bereich der gesamten Berechnung.

Abbildung 1: Knotenmodell aus dem SIA Merkblatt 2044



1.1. SIA TEC-Tool

Das SIA TEC-Tool ist der direkte Nachfolger des Tools „SIA-Tool Klimatisierung“ und ist derzeit in der Version 2.5.3 verfügbar. Es wurde im Auftrag des SIA von der Hochschule Luzern in Zusammenarbeit mit Lemon Consult aus Zürich entwickelt. SIA TEC-Tool kann unter www.energytools.ch heruntergeladen werden, und muss für das Drucken von Nachweisen lizenziert werden. SIA TEC-Tool berechnet Gebäude nach den Normen SIA 382/1, SIA 382/2, SIA380/1 und SIA 384.201. Die Daten wie Räume, Bauteilflächen, Anlagen etc. werden jeweils direkt in Tabellen in einem hierarchischen System (Projekt, Gebäude, Etage, Raum) eingegeben. Die Ausgabe erfolgt über eine Excel-Datei oder über Diagramme direkt im Programm.

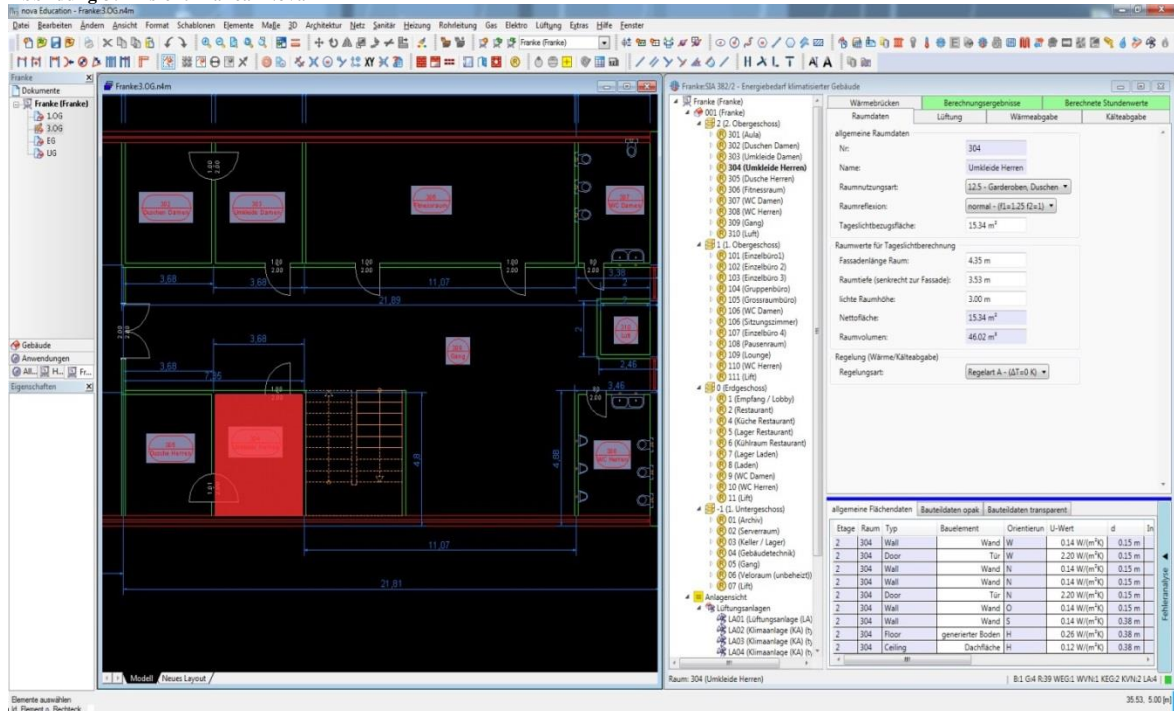
Abbildung 2: Ansicht SIA TEC-Tool Oberfläche.

Raum Nr.	Bezeichnung	Code	Nutzung	Höhe	Länge	Tiefe	Fläche	Anzahl	Personen	Einheit	Aktivität	Anzahl Bauteile	Anzahl Fenster	Anzahl Wärmestr.
				m	m	m	m ²					Stk	Stk	Stk
307	WC Damen	spez.	WC spez.1	3	2.925	4.35	12.72	1	0	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	3	0
308	WC Herren	spez.	WC spez.1	3	2.925	4.35	12.72	1	0	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	2	0
309	Gang	spez.	Verkehrsfläche spez.1	3	21.36	8.78	187.54	1	0	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	14	15	0
310	Lift	spez.	Verkehrsfläche spez.1	3	1.85	2	3.7	1	0	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	1	0
15	Einzelbüro 1	spez.	Einzel-, Gruppenbüro spez.1	3	4.93	4.35	21.45	1	14	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	2	0
16	Einzelbüro 2&3	spez.	Einzel-, Gruppenbüro spez.1	3	2.85	4.35	12.4	2	14	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	2	0
18	Gruppenbüro	spez.	Einzel-, Gruppenbüro spez.1	3	5.85	4.35	25.45	1	14	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	3	0
19	Grossraumbüro	spez.	Grossraumbüro spez.1	3	12.28	4.35	53.42	1	10	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	4	0
20	Sitzungsraum	spez.	Sitzungsraum spez.1	3	7.925	4.35	34.47	1	3	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	2	0
21	Pausenraum	spez.	Sitzungsraum spez.1	3	7.205	4.35	31.34	1	3	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	2	0
01	Einzelbüro 4	spez.	Einzel-, Gruppenbüro spez.1	3	2.85	4.35	12.4	1	14	m ² /P	Sitzende Tätigkeit (Met 1.2)	6	2	0

1.2. Plancal Nova (Trimble)

Die Hauptkomponente des von Plancal entwickelten Programms Nova ist ein leistungsstarkes CAD System in der aktuellen Version 10.0, Patch 5. Die darin erfassten Gebäude (inkl. HLK-Anlagen) können direkt in anderen Programmteilen zur Berechnung von verschiedenen Normen verwendet werden. Der Programmteil zur Berechnung nach SIA Merkblatt 2044 [23] ähnelt der des SIA TEC-Tools sehr, mit dem Unterschied, dass die Gebäudegeometrie nicht tabellarisch eingegeben, sondern direkt aus dem CAD-Plan übernommen wird. Dies birgt den Vorteil, dass die langwierige Eingabe bei grösseren Gebäuden entfällt und stets die realen Flächengrössen benutzt werden. SIA TEC-Tool rechnet hierbei mit einem konstanten Faktor zur Umrechnung von Innen- und Aussenflächen. Es ist jedoch möglich dies anzupassen, um für einen genaueren Vergleich der beiden Programme zu sorgen. Bisher wurde Nova von Plancal durch einen Vergleich mit SIA TEC-Tool validiert, da dies als offizielles Programm der SIA angesehen wurde. Das Programm kann unter www.plancal.com bezogen werden.

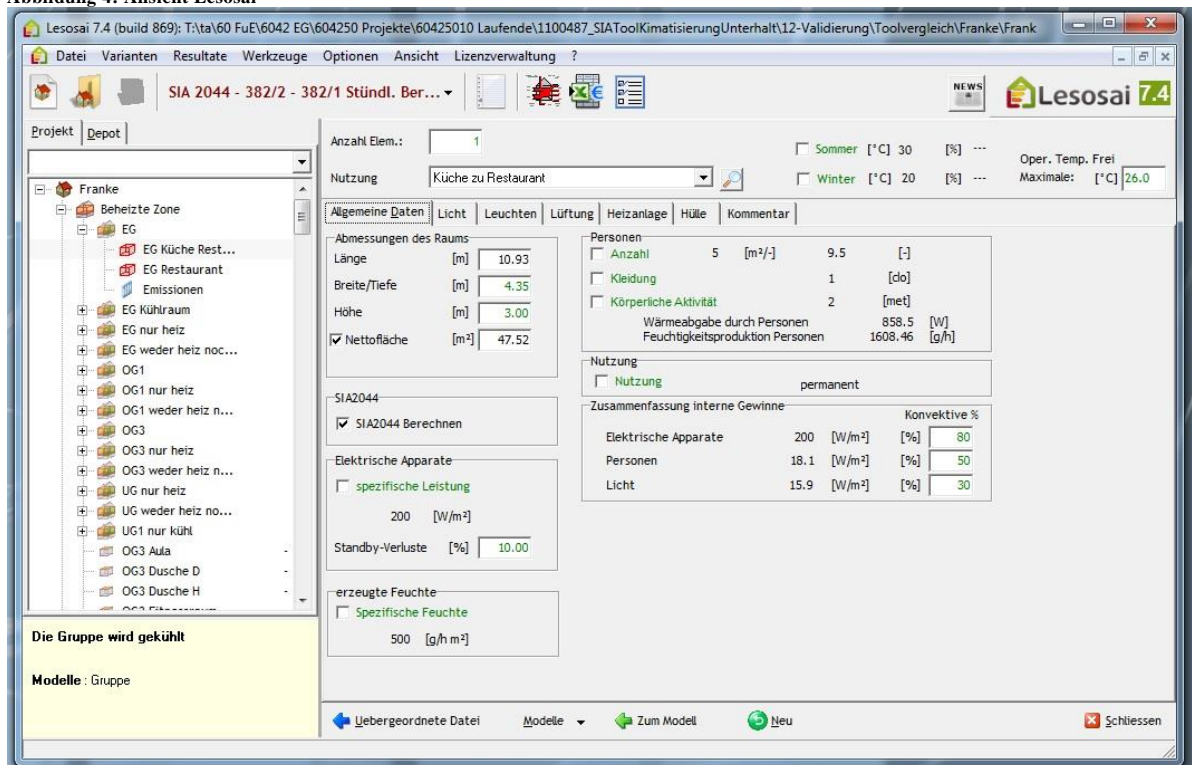
Abbildung 3: Ansicht Plancal Nova



1.3. Lesosai (E4Tech Software SA)

Lesosai (Version 7.4) wurde von E4Tech Software SA aus Lausanne entwickelt und kann unter www.lesosai.com bezogen werden. Es sind Berechnungen nach einer Vielzahl von Schweizer, europäischen und französischen Normen und ECO Labels (Minergie-ECO, DGNB, SIA 2040, SBNS) möglich. Die Dateneingabe im Lesosai ist von der Art und Weise dem SIA TEC-Tool sehr ähnlich. Bauteile und Raumdaten müssen jeweils manuell eingegeben oder via gbxml-File (BIM) eingelesen werden. Danach können die entsprechenden Berechnungen ausgelöst werden. Dabei werden umfangreiche Standardwerte automatisch vorgegeben. Nach Bedarf können die Standardwerte angepasst werden, so z.B. den Faktor Aussen-/Innenfläche, was den Vergleich der Resultate mit SIA TEC-Tool und Nova wesentlich vereinfacht. E4Tech Software SA hat verschiedene Validierungen von anderen Normen bereits durchgeführt. Die Validierung der Berechnung nach SIA Merkblatt 2044 [23] wurde, wie bei Nova, als erste Variante mit dem SIA TEC-Tool verglichen. Laut den Entwicklern stimmen die Ergebnisse bei früheren Versionen sehr gut überein.

Abbildung 4: Ansicht Lesosai



2. Aufgabe / Ziel

Aufgabe ist es nun, einen Raum / ein Gebäude möglichst identisch in die drei Programme einzugeben und die Resultate zu vergleichen. Bei Abweichungen wird der Grund eruiert und, wenn möglich, behoben. Liegen die Resultate sehr nahe bei einander, ist das Ziel der Validierung erreicht.

In einem ersten Schritt wird ein einfacher Raum eingegeben. Erst wenn dieser Raum übereinstimmende Resultate liefert, wird ein komplexes Verwaltungsgebäude verglichen. Die zwei Beispiele werden jeweils in allen Programmen erfasst und anschliessend mithilfe anderer Berechnungen –z.B. SIA 380/1 – überprüft. Zudem wurden Validierungen nach den Normen EN 15255 [25], EN 15265 [26] und EN ISO 13791 [27] durchgeführt, um einen unabhängigen Vergleich mit überprüfbareren Werten zu erhalten. Da die Validierung nach diesen Normen sehr aufwendig ist, wurde nur das SIA TEC-Tool validiert. Stimmen die Resultate von Plancal Nova und Lesosai mit dem SIA TEC-Tool überein, kann davon ausgegangen werden, dass eine Validierung dieser Programme ein ähnliches Ergebnis liefert.

2.1. Schwierigkeiten

Die Schwierigkeit besteht hauptsächlich in der korrekten Eingabe – und Kontrolle – der Daten. Aufgrund der Programmarchitektur der drei Produkte können gewisse Einstellungen nicht in allen gleich gewählt werden, oder sind gar nicht möglich. Diese müssen dann über Umwege eingegeben, oder so gut wie möglich angenähert werden. Zudem ist es sehr aufwendig, bei den unzähligen Einstellungsmöglichkeiten eine Fehleingabe zu finden.

Die Analyse der Unterschiede beruht rein auf den Ausgabewerten. Aufgrund der sehr hohen Anzahl Eingaben ist es auch nach gründlicher Suche nicht garantiert, dass die Eingaben vollständig übereinstimmen. Im Folgenden wird auf einige Stolpersteine aufmerksam gemacht, um die Schwierigkeiten der Eingabe zu verdeutlichen.

Eine weitere Schwierigkeit findet sich im SIA Merkblatt 2044 [23]. Das Berechnungsmodell wird nicht vollständig wieder gegeben. Die Lücken wurden in den drei Programmen sehr unterschiedlich geschlossen. Erfreulicherweise konnten diese Lücken im Verlaufe der Validierung überall gleich geschlossen werden.

2.1.1. Faktor Netto- / Bruttofläche

Für die Bestimmung der Heiz- und Kühllast sind sowohl die Netto- als auch die Bruttoflächen der Bauteile und Räume nötig. Damit die Menge der einzugebenden Daten nicht noch unübersichtlicher wird, versuchen Lesosai und SIA TEC-Tool diese mithilfe eines Faktors zu approximieren. Das graphisch aufgebaute Nova hingegen benutzt die Flächen, die aus dem CAD Plan berechnet werden. Bei einfachen Beispielen mit nur einem Raum und konstanten Wand- und Deckendicken kann dieser Faktor sehr genau bestimmt werden und somit stimmen deren Ergebnisse auch gut überein. Bei grösseren Gebäuden hingegen kann der Faktor nur ungefähr geschätzt werden, was zu deutlichen Abweichungen zwischen den Programmen führt. Grundsätzlich wurde mit einem NGF/BGF Faktor von 0.7973 die besten Resultate erzielt.

2.1.2. Emission / Absorption Boden

Einen grossen Einfluss in der Berechnung hat der Wärmeaustausch über Himmelstrahlung der Aussenflächen. Dieser wird massgeblich von den Emissions- und Absorptionskonstanten (ϵ und α) bestimmt.

Da der Boden nicht direkt dem Himmel ausgesetzt ist, ist dessen Wärmeaustausch per Strahlung gleich Null. Obwohl Lesosai dies so nicht anzeigt, wird dieser Effekt wie bei SIA TEC-Tool in Betracht gezogen. Nova hingegen vernachlässigt dies und berechnet dennoch einen Strahlungsaustausch des Bodens mit dem Himmel. Deshalb muss bei diesem Programm die Absorption und Emission der Bauteile die als Boden dienen gleich null gesetzt werden.

2.1.3. Konvektiver Anteil Wärme- / Kälteabgabesysteme.

Abgabesysteme in den Räumen werden durch deren Strahlungs- und Konvektionsanteil charakterisiert. Eine kleine Abweichung bei den Anteilen kann dabei zu starken Veränderungen der Resultate führen.

Der Standardwert des konvektiven Anteils von Bodenheizung und Kühldecke bei Plancal Nova ist auf 40% gesetzt. Bei Lesosai und SIA TEC-Tool liegt dieser Wert jedoch bei 50%.

2.1.4. Regelgenauigkeit

Heiz- und Kühlanlagen arbeiten nicht mit perfekter Genauigkeit. Um dies zu berücksichtigen wird eine Regelgenauigkeit eingeführt. Diese wird zu der gewünschten Raumtemperatur dazu addiert (Heiz-Fall) oder davon abgezogen (Kühl-Fall).

Sowohl bei SIA TEC-Tool, Lesosai, wie auch bei Nova ist in der Wahl des Abgabesystems bereits eine Regelgenauigkeit eingebaut, in Lesosai kann diese Information nachträglich angepasst werden. Diese verändert sich je nach Höhe des Raumes (ein Wert für Räume unter 4m, ein anderer für höhere Räume). Eine Differenz der Raumtemperatur von 0.5K kann die Heizlast des Raumes stark verändern.

2.1.5. h innen / h aussen

Der Wärmeverlust über die opaken Konstruktionen an die umgebende Luft wird durch den Wärmeübergangskoeffizienten h berücksichtigt. Jede Konstruktion weist zwei h-Werte auf, einen für den Übergang zwischen Innenluft und erster Schicht, den anderen für den Übergang zwischen letzter Schicht zur Aussenluft oder Nachbarraum. Der Koeffizient ist gleich Null, wenn die Konstruktion an das Erdreich grenzt.

Bei Lesosai werden die Wärmeübergangskoeffizienten automatisch, nach den gängigen Normen, berücksichtigt. Bei Nova wie auch beim SIA TEC-Tool können die vorgeschlagenen Werte von Hand angepasst werden. Für die Berechnung wurden daher die Werte von Lesosai eingesetzt.

h innen: 7.6923 W/m²K

h aussen: 25 W/m²K

2.2. Unterschiede Auslegung

Aufgrund der unterschiedlichen Programmarchitektur und Interpretationsspielraums im SIA Merkblatt 2044 gibt es gewisse Differenzen bei der Berechnung der Wärmeverteilung in den Räumen. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt. Diese Differenzen konnten aber im Verlauf der Validierung behoben werden.

2.2.1. Beleuchtung

Die notwendige Leistung der Beleuchtung bei grösseren Räumen mit Fenstern wird danach festgelegt, wie weit in den Raum Sonnenlicht eindringen kann. Nach SIA Merkblatt 2044 ist dies bis zur doppelten Raumhöhe von der Fassade mit Fenstern aus gemessen. Dies ist eindeutig bei rechteckigen Räumen mit nur einer Fensterfront. Sobald die Raumgeometrie jedoch komplizierter wird, oder an mehreren Fassaden Fenster eingebaut sind, gibt es einen gewissen Spielraum. Plancal Nova, das mit der realen Raumgeometrie rechnet, berücksichtigt die realen Innenmasse und berechnet damit die von Sonnenlicht bestrahlte Fläche sehr genau. Dagegen benutzen Lesosai und SIA TEC-Tool die (rechteckigen) Innenmasse der Räume, was besonders bei nicht rechteckigen

Räumen für grosse Abweichungen zwischen den Programmen führt. Da die Beleuchtung bei Belegung ständig läuft, hat dies einen grossen Einfluss auf die Heiz- und Kühlleistung. Sofern ein viereckiger Raum nur ein Fenster besitzt, stimmen die Werte überein.

2.2.2. Nettoflächen des Raumes A_T

Die Konstante A_T repräsentiert die Summe der gesamten Fläche die in den Raum hinein weisen. Sie wird benötigt, um eine Vielzahl von Konstanten zu berechnen, wie beispielsweise die Anteile der Wärmeaufteilungen auf die Temperaturknoten oder die Wärmetransferkoeffizienten. Da diese eine zentrale Rolle in der Berechnung der Heiz- und Kühlleistung haben, führt eine kleine Abweichung bei A_T zu grossen Unregelmässigkeiten in den Resultaten.

Alle drei Programme berechnen A_T unterschiedlich. SIA TEC-Tool verwendet die in der Raumeingabe getätigten Innenmasse. Lesosai berechnet A_T für die Wärmekapazität des Raumes mithilfe des Faktors NGF/BGF, benutzt jedoch für alle anderen Berechnungen auch die eingegebenen Innenmasse. Nova hingegen kann aufgrund des CAD-Planes die genauen Innenflächen berechnen. Dies allein erklärt bereits einen Grossteil der Differenzen zwischen den Programmen.

2.2.3. Weitere Unterschiede

Aufgrund der komplexen Berechnungen und den limitierten Möglichkeiten Zwischenresultate anzuzeigen und zu analysieren, konnten die grundlegenden Faktoren für die weiteren Unterschiede zwischen den Berechnungen der drei Programme nicht eindeutig bestimmt werden. Aufgrund der kleinen Differenzen wird vermutet, dass Rundungsdifferenzen einen Teil der noch kleinen Abweichungen verursachen.

3. Resultate / Analysen

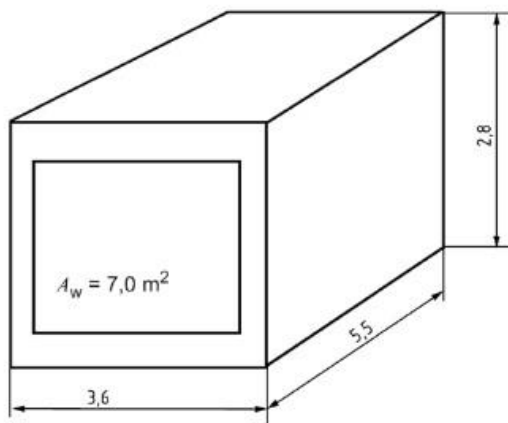
Im folgenden Abschnitt werden zuerst die vorläufigen Resultate der EN-Validierungen vorgestellt. Danach wird das Raumbeispiel Betonbunker besprochen. Das komplexe Verwaltungsgebäude konnte aus Zeitgründen noch nicht abgeschlossen werden.

3.1. Validierungen nach den EN-Normen.

Um die Ergebnisse der drei Programme mit bekannten Werten vergleichen zu können, wurden die Validierungsprozeduren der Normen EN 15255, EN 15265 und EN ISO 13791 mit dem SIA TEC-Tool durchlaufen. Die Validierungen gelten als erfüllt, wenn die Resultate mit vorgegebener Genauigkeit innerhalb der in den Normen zu findenden Vorgabewerte liegen.

3.1.1. EN ISO 13791

Abbildung 5: Raummodell der EN ISO 13791



Dieses Validierungsverfahren enthält zwei vorausgehende, kleinere Überprüfungen und einen Hauptteil. In den Prüfungen eins und zwei werden die Module für die Berechnung von Transmissionsverlusten und Verschattungskoeffizienten getestet. Bei der Hauptprüfung wird, wie in den nachfolgenden zwei Normbeispielen, ein Prüfraum mit bestimmter Geometrie (siehe Abbildung 5), drei adiabatischen Innenwänden und -decken und einer Aussenwand mit Fenster nach Westen berechnet. Als Aussenklima dient ein Referenztag der sich wiederholt. Die Prüfräume sind ausgerüstet mit

Lüftungsanlage, internen Wärmelasten (die einem Tagesprofil folgen) sowie einer Kühlung und Heizung. Für eine genauere Beschreibung des Verfahrens siehe Norm EN ISO13791:2012.

Tabelle 1 - Resultate Validierung EN ISO13791
EN ISO 13791:2012 Operative Temperatur

	Lüftung 1 h ⁻¹			Lüftung N10/T0.5 h ⁻¹			Lüftung 10 h ⁻¹		
	Test B.1.a			Test B.1.b			Test B.1.c		
	soll	ist	Differenz	soll	ist	Differenz	soll	ist	Differenz
max.	35.90	35.15	-0.75	30.00	28.38	-1.62	28.30	27.37	-0.93
Mittelwert	30.80	30.65	-0.15	22.30	21.88	-0.42	21.60	21.58	-0.02
min.	27.10	27.29	0.19	16.50	16.67	0.17	16.30	16.48	0.18

	Test B.2.a			Test B.2.b			Test B.2.c		
	soll	ist	Differenz	soll	ist	Differenz	soll	ist	Differenz
max.	33.90	33.15	-0.75	26.90	25.78	-1.12	26.50	25.61	-0.89
Mittelwert	30.80	30.64	-0.16	22.30	22.16	-0.14	21.60	21.58	-0.02
min.	28.60	28.80	0.20	18.10	18.38	0.28	17.80	18.18	0.38

	Test B.3.a			Test B.3.b			Test B.3.c		
	soll	ist	Differenz	soll	ist	Differenz	soll	ist	Differenz
max.	35.80	35.55	-0.25	29.30	28.60	-0.70	27.50	26.96	-0.54
Mittelwert	32.50	32.58	0.08	24.00	23.98	-0.02	22.60	22.59	-0.01
min.	30.20	30.29	0.09	19.20	19.45	0.25	18.70	18.86	0.16

Legende:

Klasse1 (zwischen -1 und 1)
Klasse2 (zwischen -2 und 2)
Klasse3 (zwischen -3 und 3)
Ausserhalb Klasse 3

Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, erfüllen 25 Resultate die Anforderung der Klasse 1. Nur zwei von den insgesamt 27 überprüften Werten liegen in der Klasse 2. Besonders die Mittelwerte liegen sehr nahe an den Referenzwerten. Die grössten Differenzen finden sich bei der Maxima der operativen Temperatur bei der zeitgesteuerten Lüftung (Test 1b und 2b).

3.1.2. EN 15265

Nach EN 15265 besteht die Prüfung aus insgesamt zwölf Fällen und basierend auf einen Raum (wieder 3.6 x 5.5 x 2.8 m) mit adiabatischen Innenwänden und einer Aussenwand mit Fenster (mit und ohne Sonnenschutz) gegen Westen. Die Prüffälle unterscheiden sich in den Bauteilen des Raumes, der internen Wärmelast und des Zeitplanes der Lüftungsanlage. Berechnet werden jeweils die stundenbezogene erforderliche Heiz- und Kühlenergien des Raumes über ein Jahr. Als Aussenklima wird die Klimastation „Trappes“ in Frankreich benutzt. Die Berechnungsverfahren werden nach folgendem Prinzip in die Klassen A, B oder C eingeteilt:

- Klasse A: weniger als 5% Abweichung
- Klasse B: weniger als 10% Abweichung

- Klasse C: weniger als 15% Abweichung

Für weitere Informationen und die genaue Beschreibung der Validierung siehe Norm EN15265:2007.

Tabelle 2 - Resultate Validierung EN15265

Werte SIA TEC-Tool			Bedingungsprüfung:	
Heizenergie, Qh [kWh]	Kühlenergie, Qc [kWh]	Gesamt, Qtot [kWh]	Heizenergie, Qh [%]	Kühlenergie, Qc [%]
740	230	970	-0.8	-0.4
712	196	908	-1.2	-0.5
1359	46	1405	-0.7	0.2
557	1540	2097	-0.5	0.4
473	194	667	1.5	-1.2
508	178	686	-0.3	-1.0
1069	17	1086	0.1	-0.2
320	1135	1455	0.5	0.1
755	169	924	0.9	1.2
597	190	787	3.0	-0.3
1371	16	1387	-1.7	0.1
531	974	1505	-0.2	3.1

Bedingung:

15.0	Klasse C = 15%
10.0	Klasse B = 10%
5.0	Klasse A = 5%
-5.0	Klasse A = 5%
-10.0	Klasse B = 10%
-15.0	Klasse C = 15%

Die Tabelle zeigt die Resultate der Validierung nach EN15265. Die Resultate für Kühl- und Heizenergie befinden sich jeweils innerhalb eines 1.7% Intervalls um die vorgegebenen Werte. Diese Berechnung wurde im Stundenschritt über ein ganzes Jahr geführt und mit sehr grosser Präzision abgeschlossen (alle Werte innerhalb Klasse A). Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Resultate des SIA TEC-Tools grundsätzlich plausibel sind und eine gute Genauigkeit aufweisen.

3.1.3. EN 15255

Das Verfahren zur Validierung von Softwarelösungen nach EN 15255 beruht auf einem vorgegebenen Raum (3.6 x 5.5 x 2.8 m Innenmasse) in verschiedenen Konfigurationen mit drei adiabatischen Innenwänden, zwei adiabatische Decken und einer Aussenwand mit Fenster (mit und ohne Sonnenschutz) gegen Westen. Er enthält ein Lüftungs- und Klimaanlage und interne Wärmelasten. Das Aussenklima besteht aus einem (Sommer-)Tag, der sich zyklisch wiederholt. Berechnet werden jeweils die stundenbezogene operative Temperatur und die Kühlleistung des Raumes. Ein Testfall gilt als erfüllt, wenn die operative Temperatur nicht mehr als 0.5K von den Vorgabewerten und die Kühlleistung nicht mehr als 5% von der Referenzleistung abweicht. Je nachdem, welche Testfälle (von insgesamt 15) erfüllt werden, wird das Berechnungsprogramm

(resp. Berechnungsverfahren) in Klassen eingeteilt. Hierbei sind für Klasse 1a die Anforderungen am tiefsten und für Klasse 4b am höchsten. Für mehr Details siehe EN15255:2007.

Tabelle 3 - Resultate Validierung EN15255

Berechnung SIA TEC Tool						
Prüffall	op. Temp.	max. Kühll.	mittl. Kühll.	op. Temp.	max. Kühll.	mittl. Kühll.
	[°C]	[W]	[W]	K	%	%
1	27.7	-1672	-597	-0.98	-0.6%	2.0%
2	27.2	-1466	-577	-0.86	2.4%	-1.2%
3	27.5	-1093	-348	-0.11	-8.3%	-2.9%
4	31.3	-3560	-1275	-1.30	-1.6%	1.3%
5	26.0	-1871	-620	0.00	-1.9%	1.8%
6	30.7	-1713	-554	1.95	-1.7%	0.0%
7	29.6	-1593	-557	1.00	-1.9%	0.9%
8	30.3	-1131	-314	2.50	-8.6%	-7.7%
9	42.0	-3795	-1154	8.72	-1.1%	2.6%
10	30.2	-1604	-433	1.55	-0.3%	9.4%
11	32.0	-1400	-538	0.49	0.0%	2.8%
12	30.7	-1713	-554	4.75	-10.3%	-3.5%
13	-	-	-			
14	-	-	-			
15	-	-	-			
Mittelwerte:				1.61	-2.3%	0.8%

Die Resultate zeigen ein durchzogenes Bild. Vor allem die Temperaturen weichen stark von den Vorgaben ab. Grundsätzlich kommen die Kühlleistungen mit Abweichungen um 2% sehr nahe an die Vorgaben, es gibt aber auch Fälle mit deutlich grösseren Abweichungen. Die Prüffälle 13, 14 und 15 können nicht erfüllt werden, da das Modell, resp. SIA TEC-Tool, die benötigte Funktionalität (zeitgesteuerte Sonnenstoren und gekühlte Geschosdecken ohne Wärmespeicherfähigkeit) nicht besitzt. Die Ergebnisse dieser Versuche werden deshalb nicht angezeigt.

Mit Blick auf die Validierungen nach EN 15265 und EN ISO 13791 ist nicht klar, warum die Resultate so stark abweichen. Eine genauere Untersuchung muss hier noch Antworten liefern.

3.2. Bunker-Beispiel

Das erste Vergleichsobjekt ist ein einzelner Raum (5 x 2 x 2 m Aussenmasse) mit 20cm dicken Betonwänden und -decken. Diese grenzen jeweils direkt an die Aussenluft. Als Klima wurde die SIA 2028 [19] Standartklimastation „Grosser St. Bernhard“ gewählt. Der Raum verfügte in einem ersten Schritt weder über Fenster, noch Geräte oder Personenbelegungen um sicher zu sein, dass die grundlegenden Eingaben korrekt getätigt wurden. Das HLK-System besteht nur aus einer Umluft-Heizanlage, ohne Kälte- oder Lüftungsanlage. Die Infiltrationsrate beträgt $0.1\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Mit diesem trivialen Beispiel wurde analysiert, ob die grundlegenden Berechnungen, wie Transmissionsverluste und Wärmespeicherung, korrekt durchgeführt werden. Danach wurden schrittweise weitere Faktoren wie beispielsweise Geräte, Beleuchtung, Fenster etc. eingeführt.

Aufgrund des komplexen Einflusses der Lüftung, wurde diese nicht berücksichtigt. Die Resultate werden jeweils als Summe der benötigten Heizwärme pro Monat dargestellt:

Diagramm 1- Resultate bei Bunker als Nebenraum

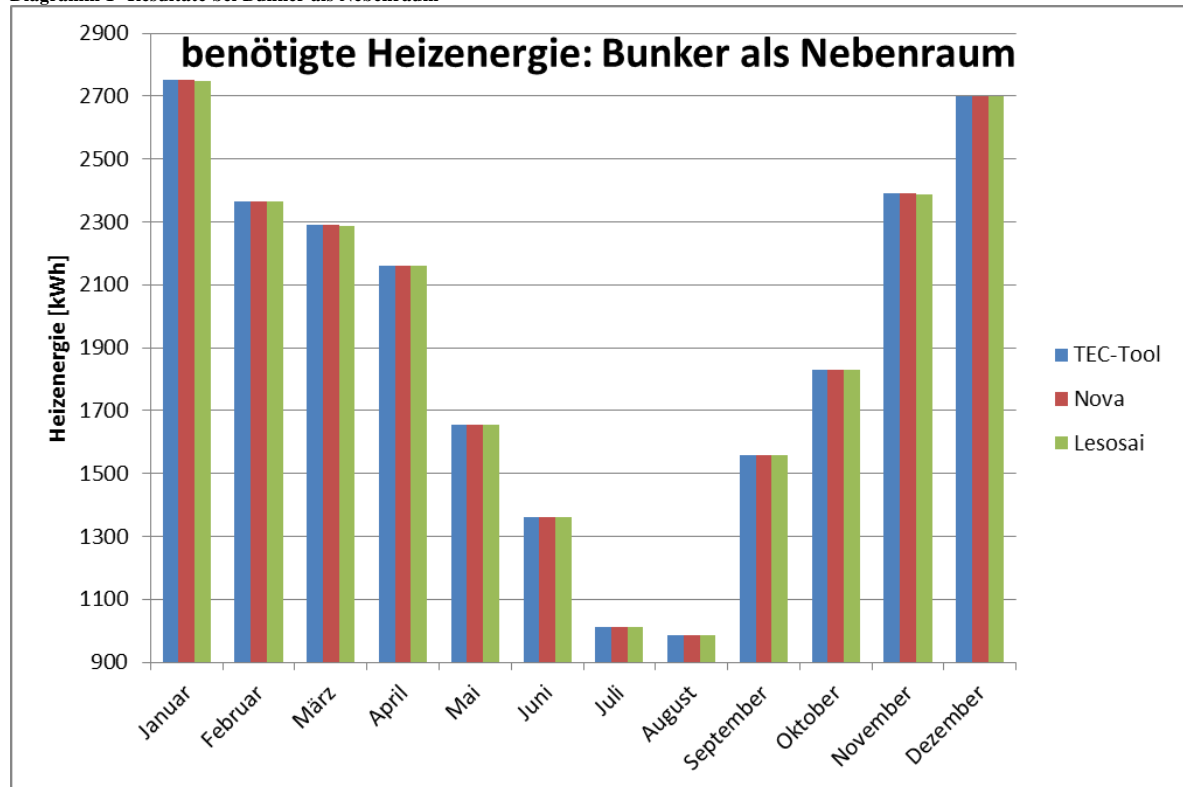
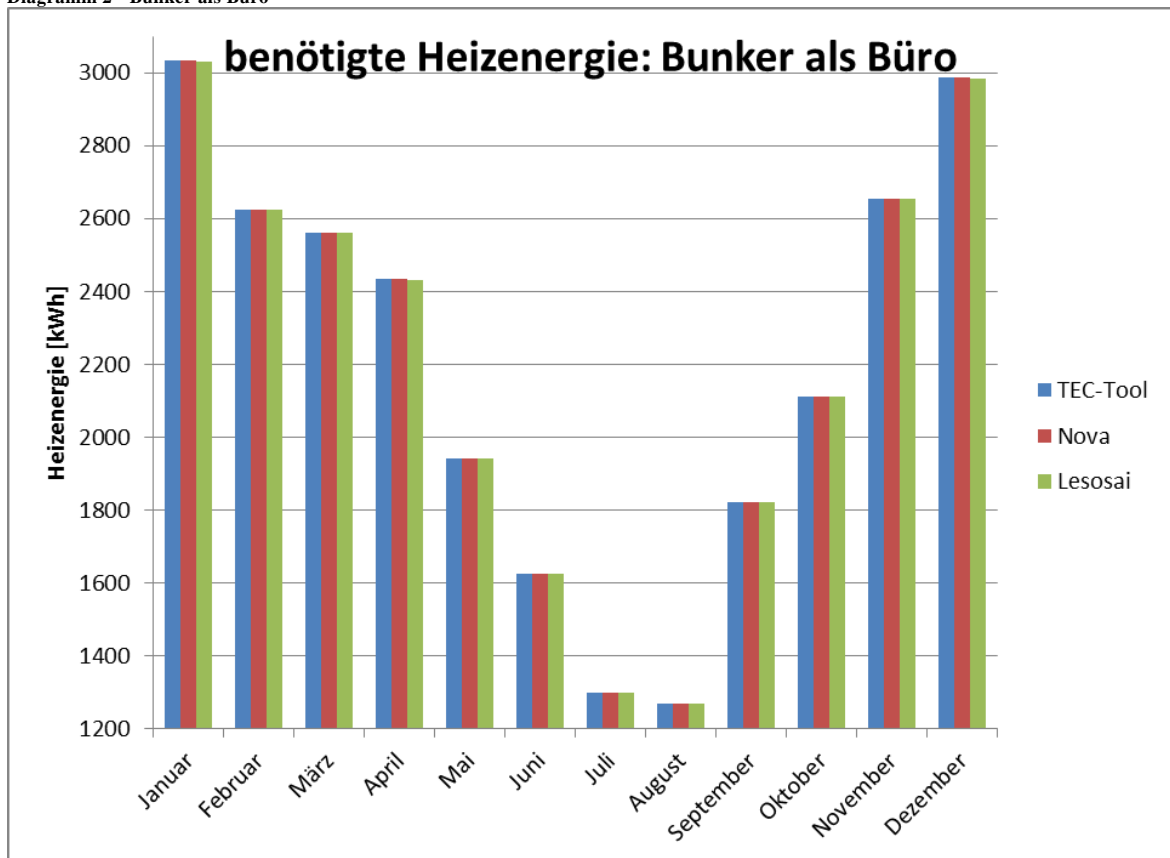


Diagramm 1 zeigt, dass die Abweichungen zwischen SIA TEC-Tool und Nova, respektive zwischen SIA TEC-Tool und Lesosai für den Bunker als Nebenraum vernachlässigbar sind. In diesem Fall enthält der Bunker weder Geräte noch Personen oder Fenster. Die interne Wärmelast besteht ausschliesslich aus der Beleuchtung. Die Werte von Nova und SIA TEC-Tool sind durchgehend quasi identisch.

In einem nächsten Schritt wurde die Nutzung des Bunkers auf Einzel-/Gruppenbüro geändert. Dadurch beinhaltet er auch Geräte und Personen. Das Ergebnis ist in folgendem Diagramm zu sehen.

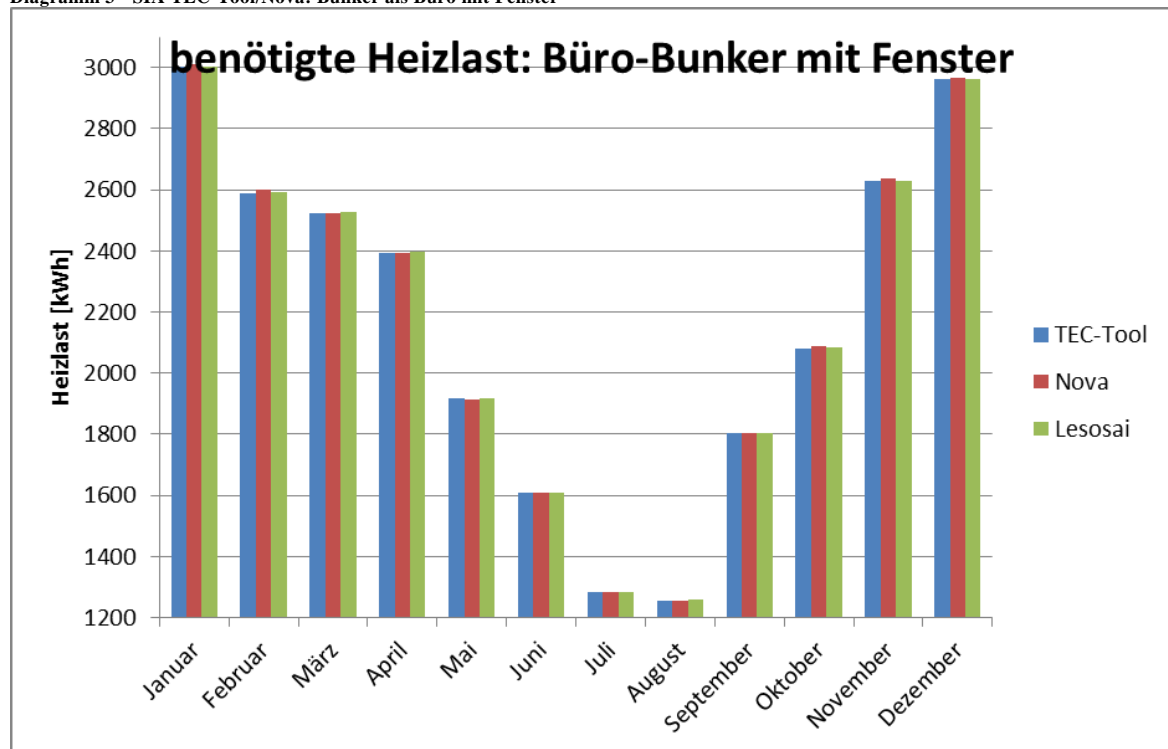
Diagramm 2 - Bunker als Büro



Auch in diesem Fall sind die Resultate der drei Programme quasi identisch (Diagramm 2). Bei genauerem Hinsehen sind kleinere Abweichungen bei Lesosai in den Monaten Dezember und März sichtbar. Diese sind jedoch definitiv vernachlässigbar, da sie nur einige Promille betragen.

Als letzter Schritt (Diagramm 3) wurde ein Fenster von 2m² an der Südfassade eingefügt. Im Vergleich mit beiden Programmen kann erneut eine Zunahme der Abweichungen im Sommer beobachtet werden. Die Unterschiede zwischen den drei Programmen sind weiterhin sehr klein.

Diagramm 3 - SIA TEC-Tool/Nova: Bunker als Büro mit Fenster



Grundsätzlich wurde klar gezeigt, dass die Heizwärme in allen drei Programmen bei diesem einfachen Beispiel zu den gleichen Resultaten führen. Die bestehenden Abweichungen können auf Rundungsdifferenzen zurückgeführt werden und sind nicht signifikant.

4. Fazit

Da das SIA TEC-Tool zwei der drei Validierungen besteht, kann davon ausgegangen werden, dass dessen Berechnungen des Raummodells nach SIA Merkblatt 2044 plausibel sind. Mit dem Vergleich des Bunkers in seinen verschiedenen Konfigurationen wurde gezeigt, dass Nova und Lesosai bei einfachen, rechteckigen Räumen dieselben Resultate liefern wie das SIA TEC-Tool.

5. Ausblick

In einem nächsten Schritt ist es notwendig, die fehlgeschlagene Validierung nach EN 15255 nachzuholen und zu versuchen, auch diese Vorgaben zu erfüllen. Der Vergleich mit dem Bunker soll ebenfalls weiter geführt werden. So soll die Lüftungsanlage berücksichtigt werden und auch Wärmeverluste gegen Erdreich, unbeheizte oder beheizte Zonen validiert werden.

Ist der Vergleich mit dem Bunker abgeschlossen, wird das komplexe Verwaltungsgebäude in den drei Programmen eingegeben und verglichen.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Norm SIA 180, Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
1999
- [2] Norm SIA 180.071 (EN ISO 6946), Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und
Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2007
- [3] Norm SIA 180.073, Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische
Kenngrößen - Berechnungsverfahren
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2009
- [4] Norm SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2009
- [5] Norm SIA 380/4, Elektrische Energie im Hochbau
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2006
- [6] Norm SIA 382/1, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und
Anforderungen
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2007
- [7] Norm SIA 382/2, Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2011
- [8] Norm SIA 384/1, Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2009
- [9] Norm SIA 384.201, Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-
Heizlast
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2003
- [10] Norm SIA 384/3, Heizungsanlagen in Gebäuden – Energiebedarf
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2013
- [11] Norm SIA 384/6, Erdwärmesonden
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2010
- [12] Norm SIA 385/1, Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und
Anforderungen
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2011
- [12] Norm SIA 385/2 (Vernehmlassung), Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden –
Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung

- SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
Februar 2012
- [13] Norm SIA 416, Flächen und Volumen von Gebäuden
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2003
- [14] Norm SIA 416/1, Kennzahlen für die Gebäudetechnik
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2007
- [15] SIA Merkblatt 2021, Gebäude mit hohem Glasanteil – Behaglichkeit und Energieeffizienz
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2002
- [16] SIA Merkblatt 2023, Lüftung im Wohnbau
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2008
- [17] SIA Merkblatt 2024, Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2006
- [18] SIA Merkblatt 2025, Begriffe
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2012
- [19] SIA Merkblatt 2028, Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2008
- [20] SIA Merkblatt 2031, Energieausweis für Gebäude
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2009
- [21] SIA Merkblatt 2033, Graue Energie von Gebäuden
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2010
- [22] SIA Merkblatt 2040, SIA-Effizienzpfad Energie
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2011
- [23] SIA Merkblatt 2044, Klimatisierte Gebäude – Standard-Berechnungsverfahren für den
Leistungs- und Energiebedarf
SIA Schweizerischer Ingenieuren und Architektenverband
2011
- [24] Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
www.endk.ch
2008
- [25] EN 15255, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung der wahrnehmbaren
Raumkühlleistung – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.
2007
- [26] EN 15265, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heiz- und
Kühlenergieverbrauchs – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.
2007
- [27] EN ISO 13791, Wärmetechnische Verhalten von Gebäuden – Sommerliche
Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und

Validierungsverfahren (ISO 13791:2012)
2012