

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Aufbau eines Modellsystems zur Analyse des Energiesystems bei Systemintegration regenerativer und dezentraler Energiequellen

Projekt Nr.: 70 3402

Für Zuwendungsgeber:

Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK)

vorgelegt von:

**CUTEC Institut
Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH
Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld**

Bericht:
Dr.-Ing. Werner Siemers
Energiesystemanalyse

Clausthal-Zellerfeld, 28.02.2017

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Einleitung.....	4
3. Durchführung des Vorhabens	5
3.1. Erzeugungsanlagen.....	5
3.2. Anbindung der Komponenten zu einem Gesamtsystem.....	8
3.3. Messtechnik und Leittechnik.....	10
3.4. Simulationsumgebung.....	11
3.5. Erweiterungen.....	15
3.6. Personaleinsatz.....	16
4. Diskussion der Ergebnisse	17
5. Weiterführung der Aktivitäten.....	18

1. Zusammenfassung

Das Vorhaben „Aufbau eines Modellsystems zur Analyse des Energiesystems bei Systemintegration regenerativer und dezentraler Energiequellen“ wurde nach Bewilligung und Verlängerung auf den Februar 2017 jetzt abgeschlossen. In der Projektlaufzeit wurden die Erzeugungsanlagen Erdgasbrennwertkessel, Solarthermische Anlage und Blockheizkraftwerk geplant und aufgebaut. Ebenso erfolgte die Integration der Erzeugungsanlagen zu einem Gesamtsystem unter Nutzung bereits vorhandener Infrastrukturen. Die Messtechnik und ein Leitstand wurden ebenfalls installiert, um Daten zu erfassen und die Anlagen zu steuern. Für die unterschiedlichen Anwendungsfälle wurde geeignete Simulationssoftware beschafft und in Nutzung genommen. Erweiterungen in dem System betrafen hauptsächlich die Anwendung von unterschiedlichen Speichermöglichkeiten und die Nutzung von innovativen Teilkomponenten.

Die geplanten Maßnahmen konnten in der Projektlaufzeit umgesetzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass technische Planungen, Lieferzeiten und Aufbauarbeit für jede einzelne Komponente einzuplanen war und nicht alle Arbeiten aus Kapazitätsgründen parallel durchgeführt werden konnten.

Die Abrechnung des Gesamtprojektes ergibt eine vollständige Verwendung der zugesagten Mittel. In der Tabelle 1 sind die einzelnen Kostenpositionen aus der Planung der Ist-Abrechnung gegenüber gestellt. Bis auf kleine Abweichungen wurden die Budgetansätze ausgefüllt. Dabei ist zu bedenken, dass in einigen Fällen eine detailliertere Abgrenzung nicht sinnvoll ist und kaum leitbar war (z.B. Einkauf von Elektro- und Installationsmaterial).

Tabelle 1: Zusammenfassung der Kostenpositionen

Zusammenfassung

		2013	2014	2015	2016	Gesamtsumme
Heizzentrale						
	Planung	100.000,00	20.000,00	0,00	0,00	120.000,00
	Ist	92.625,26	56.385,00	4.739,00	2.562,03	156.311,29
Solar						
	Planung	20.000,00	5.000,00	0,00	0,00	25.000,00
	Ist	21.489,28	5.445,77	7.239,93	0,00	34.174,98
Elektro						
	Planung	30.000,00	20.000,00	10.000,00	0,00	60.000,00
	Ist	1.138,97	10.331,36	7.810,32	23.134,35	42.415,00
BHKW						
	Planung		0,00	120.000,00	30.000,00	150.000,00
	Ist		0,00	81.397,52	48.473,62	129.871,14
Simulation						
	Planung	0,00	50.000,00	40.000,00	60.000,00	150.000,00
	Ist	34.108,78	12.469,73	37.539,58	57.775,64	141.893,73
Gesamt						
	Planung					505.000,00
	Korrektur					-357,51
	Ist					504.308,63

2. Einleitung

Zur Durchführung von Energiesystemanalysen mittels Simulationsmodellen ist eine Validierung dieser Modelle anhand von Messungen in einem Modellsystem in Form einer Laborumgebung/Versuchsanlage notwendig. Der Aufbau einer derartigen Laborumgebung/Versuchsanlage bietet darüber hinaus die Möglichkeit, praxisnahe Untersuchungen in die Lehrtätigkeit im Bereich Energiesystemtechnik einzubringen.

Das modular aufgebaute Modellsystem der Laborumgebung/Versuchsanlage ermöglicht einen schrittweisen Aufbau der verschiedenen Komponenten und wird insbesondere eine spätere Erweiterung, beispielsweise in zukünftigen Forschungsprojekten, ermöglichen. In einem ersten Schritt war die Errichtung von Erzeugungsanlagen vorgesehen, die eine Ergänzung zur bereits bestehenden Infrastruktur des Energieparks Clausthal bilden. Vor dem Hintergrund dieses Modellsystems erfolgt eine Recherche verfügbarer Simulationsmodelle zur Simulation und Analyse von Energiesystemen. Ein entsprechendes Simulationsmodell wird anschließend in eine dafür geeigneten Simulationsumgebung implementiert. In einem nächsten Schritt ist die Validierung dieses Simulationsmodells anhand von Messung an der Laborumgebung / Versuchsanlage vorgesehen.

Das in diesem Stadium fertiggestellte Modellsystem in Form einer Laborumgebung/Versuchsanlage bietet dann die Grundlage zur Nutzung und modularen Erweiterung in zukünftigen Forschungsprojekten. Zur umfassenden Betrachtung zukünftiger Energiesysteme mit Kopplung der Bereiche Strom, Wärme und Stoffe, sowie der Integration von Speichersystemen ergeben sich die Optionen zur Einbindung thermischer Speicher wie Latentwärmespeicher und zur Integration innovativer elektrischer Speichersysteme vor dem Hintergrund der dezentralen Bereitstellung von Systemdienstleistungen. Der Aufbau eines derartigen Modellsystems am CUTEC Institut bietet darüber hinaus die Möglichkeit zur Anbindung bestehender Anlagen und Syntheseeinrichtungen der Konversion von Wasserstoff zu Kohlenwasserstoffen (z.B. Fischer-Tropsch) im einem Energiesystem, in dem überschüssige elektrische Energie durch Elektrolyse zu Wasserstoff und anschließender Konversion zu Kohlenwasserstoffen einer stofflichen Speicherung zugeführt werden kann. Diese abteilungs- und disziplinenübergreifende Betrachtung des gesamten Energiesystems stellt ein Alleinstellungsmerkmal einer derartigen Anlage am CUTEC Institut dar.

Nach Beantragung des Vorhabens und ersten Beratungen erfolgte im Dezember 2013 die Bewilligung des Projektes durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK). Abgeschlossen wurde das Projekt nach zweimaliger Verlängerung am 28.02.2017. Die über die TU Clausthal verwalteten Personalstellen sind besetzt und arbeiten weiterhin an dem Vorhaben. Abgeschlossen wird hiermit lediglich die Investitions- und Aufbauphase des Systems.

3. Durchführung des Vorhabens

Die Bearbeitung des Vorhabens begann sofort mit dem Zugang der Bewilligung. Auf vorbereitete Planungen konnte zurückgegriffen werden.

3.1. Erzeugungsanlagen

Laut Planung sollten drei neue Erzeugungsanlagen aufgebaut werden. Diese waren ein Erdgas-Brennwertkessel, eine Solarkollektoranlage und ein Blockheizkraftwerk. Kessel und Solaranlage wurden bereits im Jahr 2013 beschafft und dann mit weiteren Aufwendungen in 2014 aufgebaut und in Betrieb genommen. Das BHKW wurde in 2015 beschafft und dann in 2016 in Betrieb genommen.

Der **Erdgas-Brennwertkessel** verfügt über eine maximale Leistung von 650 kW thermisch. Aufgrund der Gasqualität im Clausthal-Zellerfeld, wegen der Höhenlage und der Hydraulik stehen netto allerdings nur 580 kW thermisch zur Verfügung. Diese Leistung ist gerade ausreichend, um das CUTEC-Gebäude sicher mit Wärme zu versorgen. Der Kessel dient im Endausbau als Spitzenlastkessel bzw. Reserveaggregat (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Erdgas-Brennwertkessel im Maschinenraum CUTEC

Für den Betrieb des Kessels ist eine Gasversorgung zur Verfügung zu stellen. Ein Schornstein aus Kunststoff (wegen der Brennwertoption möglich) leitet die Abgase in einem bestehenden Schacht des Gebäudes nach außen ab. Die erzeugte Wärme gelangt als Warmwasser über eine Heizkreispumpe in eine im Keller des Gebäudes aufgebaute Wärmeverteilung. Die Energieerzeugung erfolgt mittels Gasbrenner, der den innenliegenden Wärmetauscher des Kessels erhitzt. Der Gasbrenner ist in der Lage, zwischen 100% und 20% je nach Wärmebedarf zu modulieren. Die Regelgröße wurde mit der Sollvorlauftemperatur festgelegt. Außentemperatur und andere Werte werden ebenfalls erfasst. Die Kesselkreispumpe wird vom Kessel angesteuert, kann aber auf den gewünschten Durchsatz angepasst werden. Der Gasverbrauch wird über eine Gasmengenmessung mit Druckreglung, Temperatur- und Vordruckerfassung ermittelt. Für den Wärmedurchsatz sind eine Durchflussmessung sowie die Vor und Rücklauftemperaturen zu erfassen. Der errechnete Wärmeverbrauch wird angezeigt.

als Wärmelieferant der Heizungsrücklauf verwendet, welches keinen großen Wärmeverlust darstellt. Insgesamt soll der Gewinn in den Sommermonaten mit der höheren Effizienz der Anlage den Aufwand an Heizung im Winter weit übersteigen. Die Einbindung an das Heizsystem geschieht im Keller des Gebäudes (Abbildung 4). Per Leitstand kann die Solaranlage über Drei-Wege-Ventile auf die Absorptionskälteanlage umgeschaltet werden. Dabei sind höhere Temperaturen von Vorteil. Die Vakuumkollektoren können im Regelfall bis in einen Bereich von 130°C betreiben werden. Die maximale Temperatur im Wasserkreislauf beträgt etwa 185°C, darüber wird die Anlage notgekühlt. Im Kollektor selbst entstehen im Stillstandfall Temperaturen über 300°C. Je nach Sonneneinstrahlung lassen sich aus den 54m² Kollektorfläche bis zu 32 kW thermische Energie erzeugen.



Abbildung 4: Anbindung Solar-Anlage im Keller

Ein **Blockheizkraftwerk** erzeugt Strom und Wärme gleichzeitig. Die Energie wird aus einem Gasmotor zur Verfügung gestellt. Das BHKW verfügt über 70 kW elektrische Nennleistung. Im vorliegenden Fall wird eine Erdgasvariante verwendet, die auf Bioerdgas bzw. synthetisches Erdgas umgerüstet werden könnte.



Abbildung 5: BHKW in Modulbauweise

Aufgrund der Höhenlage und der schlechten Gasqualität lässt sich allerdings nur eine Nettoleistung von 62 bis 63 kW erzielen. Die Auslegungsgröße für die thermische Leistung sind 109 kW. Je nach Situation kann die Erzeugung zwischen 100 und 120 kW schwanken. Das BHKW wurde in einer schallreduzierten Modulbauweise errichtet und im Maschinenraum aufgebaut (Abbildung 5). Notwendig sind der Gasanschluss, ein Schornsteinanschluss, die Verbindung zu Heizungs- vor- und -rücklauf sowie eine Abluftanlage für die Kühlung des Modulgehäuses. Über die Ansteuerung des Leitstandes kann die elektrische Leistung bis zu einem Minimalwert von 35 kW elektrisch reduziert werden.

3.2. Anbindung der Komponenten zu einem Gesamtsystem

Im Endausbau sollen die neuen Erzeugungsanlagen zusammen mit den noch funktionsfähigen Teilen aus den Vorprojekten zu einem Gesamtsystem verschaltet werden. In vereinfachter Form stellt sich das System dann, wie in der Abbildung 6 gezeigt, dar.

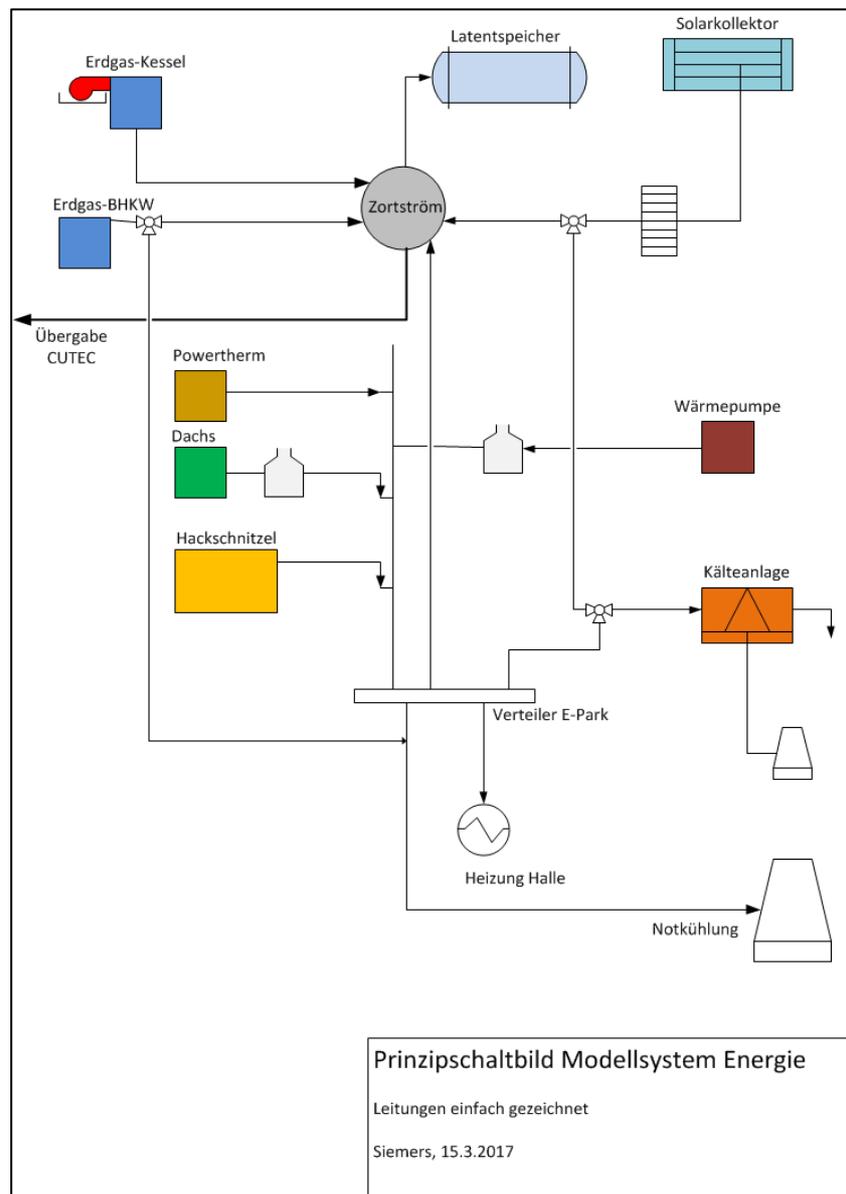


Abbildung 6: Gesamtsystem Modellsystem Energie

Die erzeugte Wärme aus den verfügbaren Anlagen soll zur Beheizung des CUTEC-Gebäudes herangezogen werden. Dazu musste eine neue Verbindung zwischen dem Hauptgebäude mit der Heizzentrale und den Versuchseinrichtungen in der Neuen Halle hergestellt werden. Es wurde entschieden, eine unterirdische Verbindung zu schaffen, da dies die einfachste infrastrukturelle Lösung war. Ein gedämmtes doppeltes Kunststoffrohr wurde eingesetzt und verbindet den Keller der Neuen Halle mit der Heizzentrale.

Die Anbindung der einzelnen Wärmeerzeuger erfolgt über den sog. Zortström-Verteiler. Dieser Zortström-Verteiler ist im Prinzip eine hydraulische Weiche, besitzt aber auch verschiedene durch Leitbleche abgetrennte Schichtebenen. Damit ist es möglich, unterschiedliche Temperaturniveaus in den Verteiler einzuspeisen und auch wieder zu entnehmen. Den Aufbau des Verteilers zeigt Abbildung 7.



Abbildung 7: Zortström-Verteiler mit möglicher Einschichtung von Wärmeniveaus

Der Erdgas-Brennwertkessel und das BHKW sind direkt auf den Zortström geschaltet. Die Solaranlage ist über einen Plattenwärmetauscher hydraulisch entkoppelt angebunden. Des Weiteren ist eine Anbindung an einen Latentwärmespeicher (siehe Kapitel 3.5) realisiert. Durch Ventilumschaltungen ist es möglich, einerseits den Latentwärmespeicher zu beladen bzw. ihn wieder zu entladen. Eine weitere Verbindung mit Vor- und Rücklauf dient dem Anschluss der Anlagen aus dem Energiepark. Die in diesem Verteiler ankommende Wärme wird über die Nahwärmeleitung an die CUTEC-Heizzentrale geliefert.

Die Erzeuger aus dem Energiepark sind bereits mit einem zentralen Verteiler (auch inklusive einer einfachen hydraulischen Weiche) ausgestattet. Das Powertherm-BHKW (20 kW elektrisch und 43 kW thermisch) und der Holzhackschnitzelkessel (etwa 160 kW thermisch) sind direkt mit dem Verteiler über Vor- und Rücklauf verbunden. Der Dachs (5,5 kW elektrisch und 12,5 kW thermisch) und die Wärmepumpe (15 kW thermisch) fördern ihre Energie zuerst in einen Pufferspeicher, von dem dann über einen weiteren Pumpenkreis die Wärme in den Hauptverteiler abgegeben wird. Von dem Verteiler kann die Neue Halle direkt beheizt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eine Absorptionskälteanlage mit Heizwasser zu versorgen. Die Absorptionskälteanlage erzeugt aus dem Heizwasser (vorzugsweise 85°C) Kaltwasser, welches zur Raumkühlung in Klimageräten benutzt wird. Schließlich kann auf eine Notkühlung zurückgegriffen werden, wenn im Versuchsbetrieb bei elektrisch dominierter Fahrweise Wärmeüberschüsse anfallen würden. Der zentrale Verteiler Energiepark leitet Wärmeüberschüsse in den Zortström-Verteiler und damit in die Heizzentrale CUTEC.

Das Buderus-BHKW kann ebenfalls auf den Verteiler Energiepark umgeschaltet werden und verfügt dann über die Notkühloption. Zusätzlich ist eine direkte Verbindung von der Solaranlage auf die Absorptionskälteanlage möglich.

Die BHKW sind elektrisch an die Niederspannungs-Unterverteilung der Neuen Halle angeschlossen. Diese wiederum ist mit der Niederspannungs-Hauptverteilung verbunden. Die BHKW werden so gefahren, dass keine Einspeisesituation vorliegt, d.h. der gesamte erzeugte Strom wird im Gebäude verbraucht.

3.3. Messtechnik und Leittechnik

Für den Betrieb und die einzelnen Experimentierumgebungen ist eine umfangreiche Messtechnik mit einer zugehörigen Leittechnik aufzubauen. Jede einzelne Anlage ist mit Erfassungsgeräten ausgestattet, die eine Bilanzierung ermöglichen. Dazu gehören Durchfluss, Drücke und Temperaturen, elektrische Erzeugungsdaten, Wärmemengen, Gasmengen und weitere spezifische Daten. Die Hauptdaten sind vor Ort ablesbar und werden an dezentrale Erfassungsboxen weitergeleitet. Über ein Bussystem (Profibus DP) sind die Daten in dem Leitstand zentral verfügbar. Der Leitstand befindet sich im Obergeschoß der Neuen Halle (siehe Abbildung 8). Aufbau von Messtechnik und Leitstand orientieren sich an üblichen Industriestandards. Das Vorgehen gewährleistet im Regelfall die Funktion und eine funktionierende Ersatz- und Reparaturversorgung.



Abbildung 8: Raum Leitstand des Projektes

In der anderen Richtung können vom Leitstand einzelne Befehle an die unterschiedlichen Erzeugungseinheiten und Umschaltventile ausgesendet werden. In den meisten Fällen geht es um Ein- bzw. Ausschalten, aber auch um Leistungsanpassungen und Veränderung der Sollwerte. Beispielhaft sind in der Abbildung 9 einige Oberflächen wiedergegeben.

In der Abbildung links oben ist der Kessel aufgeführt. Die Eingangsgrößen und die Sollwertvorgabe sind angezeigt. Eine grafische Darstellung zeigt den Zeitverlauf der thermischen Werte (Leistungen und Temperaturen). Rechts oben ist das Buderus-BHKW zu sehen. Dort stehen eine Reihe von Messwerten aus der Steuerung des BHKW zur Verfügung, die in dem Schaltbild abgelesen werden können. Unten links ist das Kellergeschoss abgebildet, in dem alle Erzeuger über den Zortström zusammenschaltet sind. Detailliert aufgeführt ist noch der Latentwärmespeicher. Unten rechts schließlich ist die Solaranlage dargestellt. Auch hier werden umfangreiche Daten aus der Anlagensteuerung zur Verfügung gestellt.

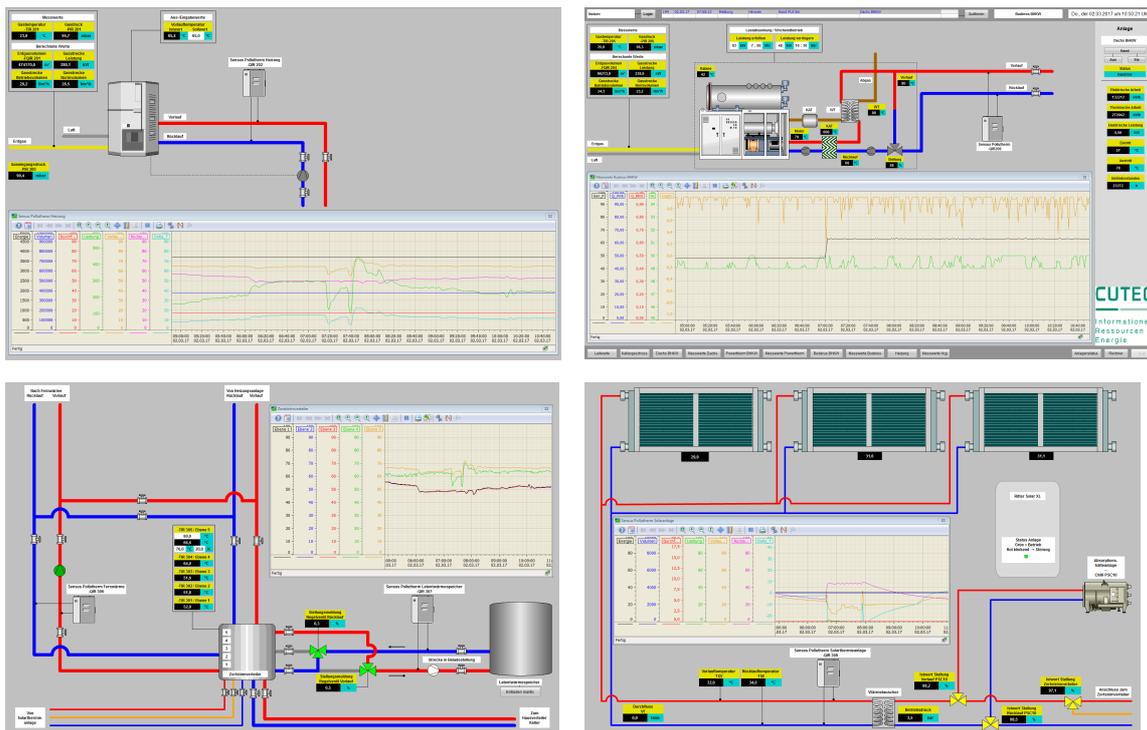


Abbildung 9: Beispielpfeilhafte Darstellungen Leitstand

3.4. Simulationsumgebung

Eine der Hauptaufgaben ist die Erstellung von Simulationsumgebungen für die Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen zum breiten Thema Sektorkopplung in der Energiewende. Dazu wurden verschieden Softwaretools angeschafft und installiert sowie erste Simulationen und Berechnungen durchgeführt. Voraussetzung für den Einsatz der Werkzeuge ist eine entsprechende Hardware-Ausstattung. Dazu wurden Desktop-Rechner als auch mobile Endgeräte beschafft.

- Energy Pro

Mit Energy Pro lassen sich Energiesysteme komplett zusammenstellen, die vorgegebene Bedarfe an Strom und Wärme mit unterschiedlichen Erzeugungseinheiten zur Verfügung stellen. Dazu wurde das jährliche Bedarfsprofil von CUTEC genommen und mit den vorhandenen Erzeugungs- und Speichereinheiten eine Jahresbilanz erstellt. Das Programm erlaubt dann auch noch eine wirtschaftliche Optimierung. Ein Ergebnis für ein Jahr zeigt die Abbildung 10.

Die obere Grafik gibt die elektrische Leistung über ein Jahr wieder. Der schwarze Bereich stellt die Anforderung dar. Deutlich sind Wochentage und Wochenenden zu erkennen. In einigen Zeitabschnitten kommt es zu höheren Bedarfen aufgrund von intensiver Versuchsdurchführung. Insgesamt 3 BHKW stehen zur Verfügung, die in Priorität vom größten zum kleinsten Erzeuger geschaltet werden. Hinzu kommen Beiträge aus der bestehenden Photovoltaik-Anlage. Im Winterbetrieb kann das BHKW 1 nahezu durchlaufen. Im Sommer kommt es zu Leistungsreduzierungen und Abschaltungen. Zur Spitzenabdeckung laufen auch die beiden kleineren BHKW, zumindest im Winter und an Werktagen. Die hohen Spitzenbedarfe von über 100 kW können in Summe nicht von den eigenen BHKW erzeugt werden, so dass Fremdbezug notwendig wird.

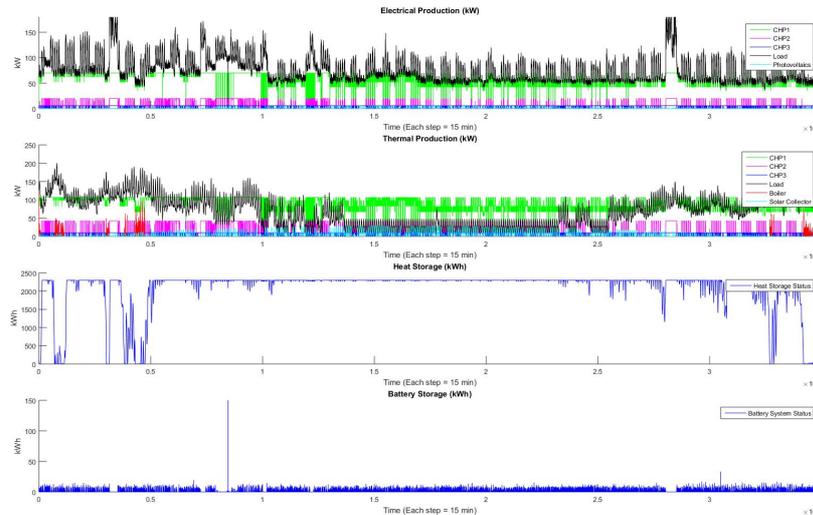


Abbildung 10: Ergebnis der Simulation mit Energy Pro

Entsprechend zu den Laufzeiten der BHKW wird auch Wärme erzeugt. Dies ist in der 2. Grafik von oben gezeigt. Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Wärmeproduktion im Sommer zu hoch gegenüber dem Bedarf ist. Ein Teil der Überschusswärme kann in den Latentwärmespeicher eingelagert werden (siehe 3. Grafik von oben), der allerdings den Sommer über fast immer gefüllt ist. Daher wird die Option Notkühlung eingeplant, um die Stromproduktion nicht zu unterbrechen. Der Spitzkessel (boiler) kommt nur in Ausnahmefällen an kalten Tagen zum Einsatz. Das ist so gewollt, da die Koppelwärme über BHKW günstiger erzeugt werden kann. Im Sommer könnte die Solaranlage bei guten Strahlungsbedingungen fast den Bedarf decken. In dem unteren Teil der Abbildung ist der Status des Batteriespeichers wiedergegeben, der zum Teil die hohen Spitzenanforderungen an Elektrizität in den Versuchsphasen ausgleichen kann. Weitere Auswertungen sind für ausgesuchte Zeitperioden verfügbar. Dort kann detaillierter die Erzeugung beispielsweise im Sommer oder im Winter, z.B. nur für eine Woche betrachtet werden.

- TRNSYS

Die Software TRNSYS ist eine weit verbreitete Simulationssoftware für Gebäudesimulationen. In einer ersten Aufgabenstellung wurde die Erzeugung durch die solarthermische Anlage angelegt und simuliert.

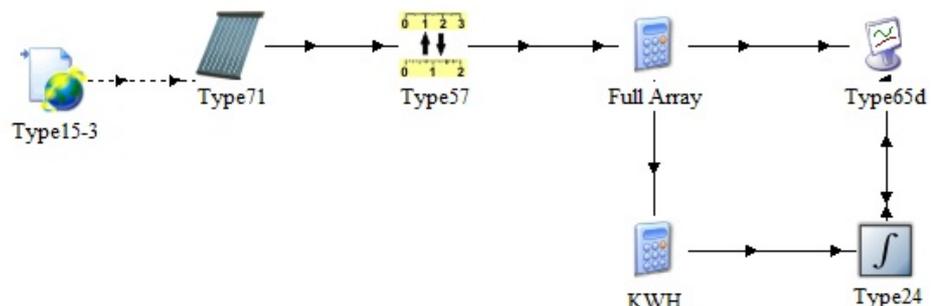


Abbildung 11:
 Rechengang
 Simulation Solar

Das zugehörige Schaltbild in Abbildung 11 zeigt den Ablauf der Simulation. Strahlungsdaten werden zur Verfügung gestellt, in diesem Fall der Durchschnitt von 10 Jahren für eine bestimmte

Wetterstation. Als Solaranlage werden Röhrenkollektoren definiert. Dann erfolgt die Berechnung und Bilanzierung. Das Ergebnis ist in der Abbildung 12 zu sehen. Die solare Erzeugung von Warmwasser ist als Stundenmittelwert über ein Jahr angegeben. Gleichzeitig wird die gesamte Erzeugung aufsummiert.

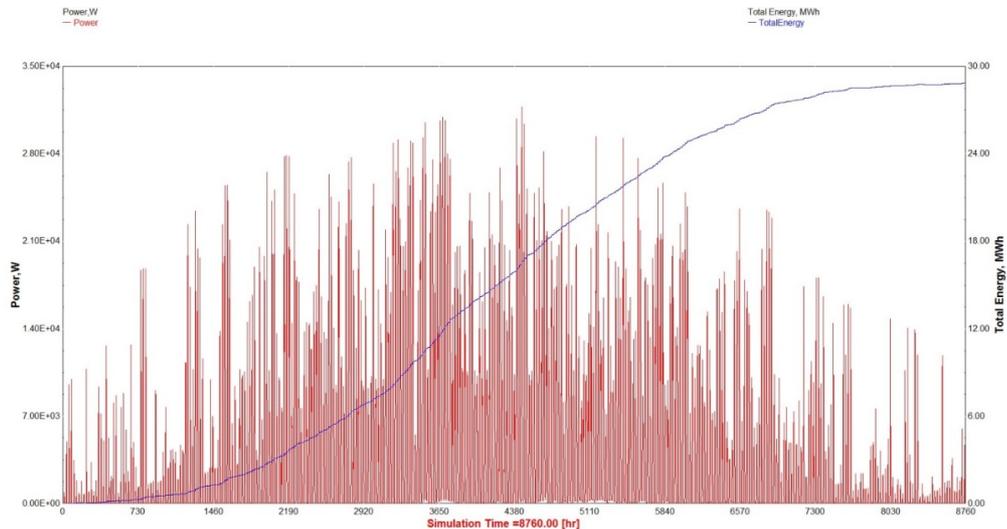


Abbildung 12: Ergebnis Simulation Solaranlage

Die software erlaubt die Nutzung weiterer Simulationsumgebungen mit der Aufstellung des Energiebedarfs von Gebäuden und Möglichkeiten der Erhöhung der Energieeffizienz, z.B. durch verbesserte Dämmung von Bauteilen.

- COMSOL

Für spezielle Anwendungen werden Strömungssimulationen benötigt. Ein Werkzeug zur Lösung der Problematik ist das Paket COMSOL. Im vorliegenden Fall geht es um den Wärmeübergang an glatten Rohren im Vergleich zu Rohren mit einer definierten Oberflächenstruktur.

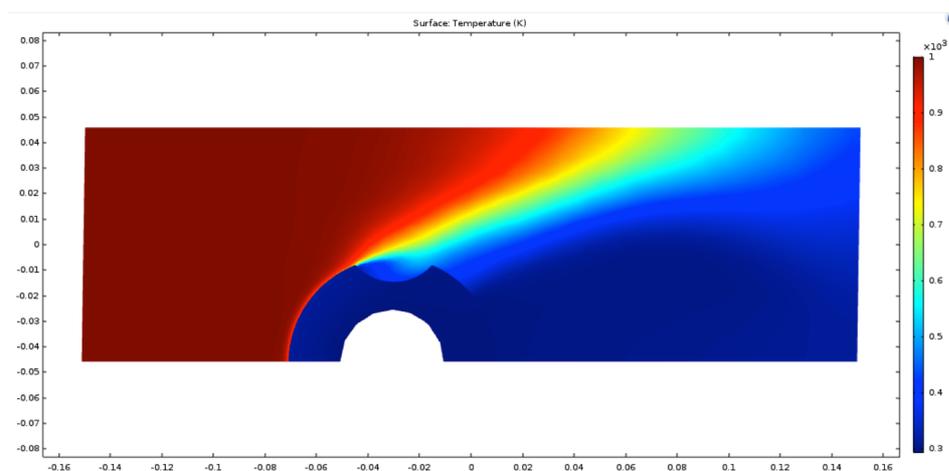


Abbildung 13: Temperaturverlauf entlang eines Wärmetauscherrohres

Es wurden am CUTEC Versuche gefahren, um einen Stirlingmotor über die Auskopplung von heißer Luft aus dem Brennraum des Hackschnitzelkessels zu betreiben. Da der Brennraum

3.5. Erweiterungen

Die Möglichkeiten der Erweiterungen in dem Projekt gehen in Richtung thermischer und elektrischer Speicher. Einige der Optionen wurden in der Projektlaufzeit umgesetzt.

Bereits im Vorfeld der Bewilligung tauchte das Problem der Speicherung auf. Durch Vorverhandlungen konnte sichergestellt werden, dass ein Latentwärmespeicher in das Investitionsprogramm aufgenommen werden konnte. In Heizsystemen wird das erzeugte Heizwarmwasser üblicherweise in druckbehafteten Wasserspeichern zwischengelagert. Bei größeren Speichermengen werden die Behälter groß und relativ teuer. Ein Latentwärmespeicher nutzt einen chemischen Phasenwechsel als Energiespeicherung. In dem verwendeten System wird eine Masse durch Energiezufuhr verflüssigt, bei etwa 60°C findet der Phasenwechsel statt. Wird kälteres Medium durch die Masse geleitet, kommt es zur Verfestigung und die zuvor eingebrachte Schmelzenergie wird wieder frei. Im Gegensatz zu normalen Wärmespeichern geht hier die Wärme über die Zeit nicht verloren. In dem im Bild 15 gezeigten Container kann insgesamt eine Wärmemenge von 2,3 MWh eingespeichert werden. Durch den Einsatz des Latentwärmespeichers wird der Betrieb des Gesamtsystems mit folgenden Beispielen flexibler:

- BHKW können stromorientiert weiter betrieben werden, auch ohne direkte Nutzung der Wärme,
- Überschüsse aus der Solaranlage im Sommer können für spätere Nutzung eingespeichert werden,
- es steht Reserve-Wärmeenergie zur Verfügung,
- im Winter kann ein Betrieb bei Volllast erfolgen (Wärmeüberschuss) und bei geringer Anforderung auf den Speicher geschaltet werden.



Abbildung 15: LaTherm als Latentwärmespeicher

Durch den Einsatz des Latentwärmespeichers ergibt sich eine weitere mögliche Innovation im Gesamtsystem der Energieversorgung. Wie erwähnt, liegt die Temperatur des Speichersystems bei etwa 60°C. Eingerechnet von weiteren Wärmeverlusten über den Transportweg ist diese Temperatur für eine gesicherte Warmwasserversorgung zu niedrig (Legionellen-Entstehung im Trinkwassersystem). Der Einbau einer Ultrafiltrationsanlage ermöglicht allerdings den sicheren Betrieb der Trinkwarmwasserversorgung auch unterhalb der geforderten Warmwassertemperaturen. Somit kann der Speicher besser genutzt und insbesondere im Sommer und in der Übergangszeit die Systemtemperatur gesenkt werden.

Dies hat einen geringeren Primärenergieeinsatz zur Folge und die Solaranlage kann besser ausgenutzt werden.

Die Zwischenspeicherung von Elektrizität ist technisch anspruchsvoller. Aus dem Energiepark-Projekt steht ein Batteriespeicher mit einer theoretischen Kapazität von 120 kWh zur Verfügung. Der Zustand der Batterien wurde überprüft und eine regelmäßige Erhaltungsladung durchgeführt. Des Weiteren wurde eine Reaktivierung des Umrichtersystems und der Steuerung vorbereitet. Aufgrund von technischen und organisatorischen Restriktionen konnte der Regelbetrieb allerdings noch nicht aufgenommen werden. Eine weitere Komponente zur Flexibilisierung von Stromangebot und Stromnutzung bietet die Elektromobilität. Daher wurde in das Gesamtsystem eine Elektroladesäule integriert, die es ermöglicht, bei Stromüberschuss bzw. bei hohen Anteilen von regenerativer Stromerzeugung (durch die vorhandene Photovoltaikanlage) Elektrofahrzeuge aufzutanken.

3.6. Personaleinsatz

In der Bewilligung wurden neben den Finanzmitteln zum Aufbau der Anlagen auch Personalmittel bereitgestellt. Diese sind allerdings organisatorisch nicht an CUTEC, sondern an die TU Clausthal angebunden. Die Wissenschaftler wurden und werden auch für den Betrieb und den Aufbau der Simulationsarbeiten eingesetzt.

4. Diskussion der Ergebnisse

Die Bewilligung des Projekts erfolgte für einen relativ langen Zeitraum. In diesem Zeitraum wurden Investitionen in einer Gesamthöhe von 505.000 € umgesetzt. Die einzelnen Maßnahmen mussten dabei technisch geplant und vorbereitet werden. Dies wurde weitgehend mit eigenen Personalressourcen umgesetzt. Nur in Ausnahmefällen und bei sachlicher Notwendigkeit sind Fremdfirmen eingesetzt worden. Dadurch konnten die einzelnen Maßnahmen nur nacheinander abgearbeitet werden, was zu einer verlängerten Projektlaufzeit führt.

Die Kombination der durch dieses Vorhaben errichteten Erzeugungs- und Umwandlungsanlagen mit den bestehenden Anlagen der CUTEC aus Vorgängerprojekten ermöglicht eine hohe Variabilität der Zurverfügungstellung von Wärme und Strom und der Nutzung bzw. dem Gebrauch von Wärme, Strom und Kälte unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Speicheroptionen. Damit ist ein hervorragendes Experimentierfeld geschaffen worden, das Fragestellungen nachgeht, die über die Energieversorgung von Standardgebäuden hinausgeht. Dabei wird gleichzeitig eine hohe Effizienz angestrebt. Die möglichst weitgehende Automatisierung und digitale Datenerfassung ermöglicht die Kopplung des Experimentiersystems an die Simulationsumgebung. Durch den Aufbau der Simulationsumgebung werden weitergehende Voruntersuchungen und Auswertungen möglich gemacht, die mit veränderten Eingangsparametern realitätsnahe Ergebnisse präsentieren können.

Im Einzelnen wird erreicht:

- Anbindung der Erzeugungseinheiten an das Versorgungssystem der CUTEC
- Nutzung eines Erdgasbrennwertkessels als Spitzenlastkessel
- Einbindung von erneuerbarer Energie über eine Solarkollektoranlage
- Flexible Bereitstellung von Strom und Wärme über ein Blockheizkraftwerk
- Speicherung von Wärme in einem Latentwärmespeicher
- Speicherung von Strom und flexiblere Nutzung
- Einbindung von Stromerzeugung aus Photovoltaik
- Nutzung der Wärmeüberschüsse im Sommer zur Kältebereitstellung
- Einbindung erneuerbarer Energie zur Wärmeversorgung (Holzhackschnitzel als Festbrennstoff)
- Nutzung von marktüblichen Mini-BHKW zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme
- Einsatz einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung
- Vorbereitung der stofflichen Speicherung von regenerativer Energie
- Aufbau eines Leitsystems zum Betrieb und Monitoring der Anlagen
- Aufbau von Simulationsumgebungen für das Gesamtsystem und für Spezialanwendungen

Die Intention des Vorhabens konnte vollumfänglich umgesetzt werden. In der Abbildung 16 ist noch einmal das Prinzipbild des Gesamtsystems wiedergegeben.

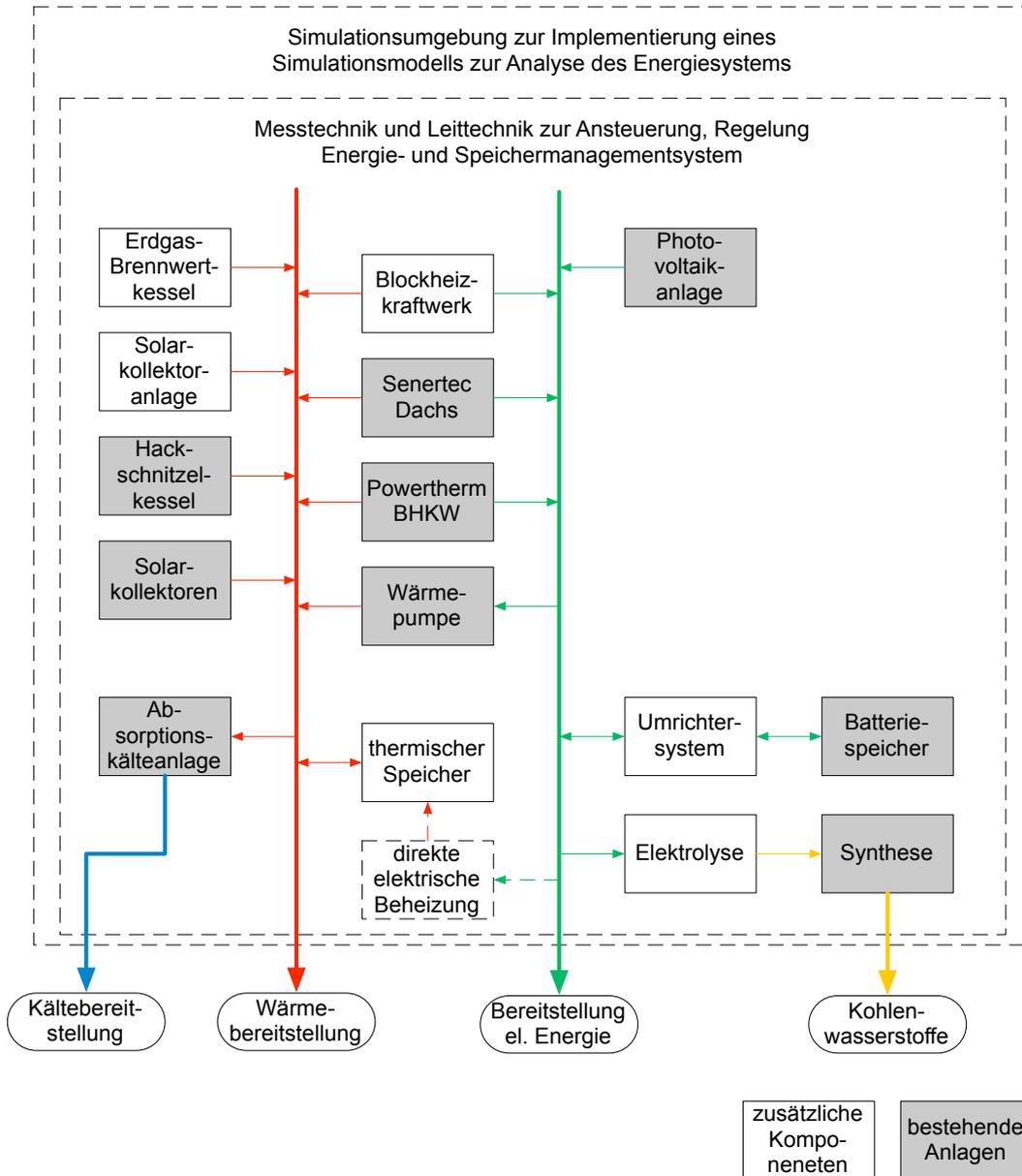


Abbildung 16: Gesamtaufbau Modellsystem Energie

5. Weiterführung der Aktivitäten

Im Zuge des Übergangs der CUTEC in die TU Clausthal wurde der erreichte Sachstand des Vorhabens diskutiert. Im Gesamtkonzept der TU Clausthal steht der Begriff „Nachhaltige Energiesysteme“ als ein zentraler Aufgabenschwerpunkt fest. Das Modellsystem Energie ist dabei als eine hervorragende Basisausstattung für weitere Vorhaben und Untersuchungen anzusehen. Es ist damit zu rechnen, dass die Aktivitäten in dem Bereich sogar verstärkt durchgeführt werden.