

Pilotregion Basel

Projekt Nr. 7 – Energiedrehscheibe

Übersicht der Resultate

Auf Grundlage des Artikels „Cost optimal urban energy systems planning in the context of national energy policies: A case study for the city of Basel“

von Mashaël Yazdanie*, Martin Densing*, Alexander Wokaun

*Energy Economics Group, Laboratory for Energy Systems Analysis

Paul Scherrer Institut

5232 Villigen PSI

Projektkoordination und Kommunikation durch

novatlantis gmbh

c/o Paul Scherrer Institut

5232 Villigen PSI

Villigen, 4. Oktober 2017

Einführung

Die Pilotregion Basel unterstützte zwischen 2012-2017 das Projekt „Energiedrehscheibe“. Die Arbeit, die Teil des übergeordneten Projekts „Integration of Decentralized Energy Adaptive Systems for cities, IDEAS4cities“ ist, wurde im Rahmen der Dissertationsarbeit von Mashael Yazdanie am Paul Scherrer Institut verfasst worden.

Mit Hilfe von computergestützten Modellrechnungen wird aufgezeigt, wie sich das Energiesystem im Kanton Basel-Stadt unter Annahme verschiedener exogener Einflüsse und mit Fokus auf dezentrale Erzeugungs- und Speichertechnologien kostenoptimal weiterentwickeln könnte. Die Arbeit gibt damit Hinweise, wie sich nationale energie- und klimapolitische Vorgaben auf das Basler Energiesystem auswirken dürften. Es wird aufgezeigt, welche Energieeinsparungen realisiert werden könnten und welche strukturellen Veränderungen sich beim Verbrauch und bei der Bereitstellung von Energie ergeben würden, wenn die Vorgaben kosteneffizient erreicht werden sollen.

Zusammenfassung der Resultate

Die Berechnungen anhand des TIMES-Energiemodells¹ geben Auskunft darüber, wie sich das bestehende Energiesystem in Basel unter den gegebenen Annahmen im Zeitraum zwischen 2010 – 2050 entwickelt und welchen Einfluss die nationalen Energieszenarien auf das lokale Energiesystem von Basel und die dortige, künftige dezentrale Energieproduktion haben können. Analysiert werden insbesondere die Szenarien „Weiter wie bisher, WWB“ und „Neue Energiepolitik, NEP“ je in einer Variante mit Gas als Energieträger sowie unter Einbezug einer Netz-Lösung (Import-Variante).²

	Annahmen für die Szenarien	
	Weiter wie bisher	Neue Energiepolitik
CO ₂ -Preis (vereinfacht für alle fossilen Energieträger)	Gering – 60 CHF /t-CO ₂ in 2050	Hoch – 140 CHF /t-CO ₂ in 2050
Gebäuderenovierung	Geringes Potenzial	Grosses Potenzial
Geräteverbrauch (z.B. Licht, Waschmaschine, Trockner, etc.)	Geringe Steigerung des Wirkungsgrads bis 2050	Grosse Steigerung des Wirkungsgrads bis 2050
Kosten für externen Netzstrom	Geringe Gesamtkosten (Erzeugung und Übertragung & Verteilung)	Hohe Gesamtkosten (Erzeugung und Übertragung & Verteilung)

Tabelle 1: Szenariencharakterisierung

Die folgenden drei Abbildungen zeigen auf, welche Strukturen sich gemäss der Modellierung für die Wärmeerzeugung (Diagramm links) und die Elektrizitätsbereitstellung (Diagramm rechts) unter Annahme einer kostenoptimalen Entwicklung durchsetzen werden.

¹ TIMES ist ein Modellgenerator für Energiemodelle, entwickelt im Rahmen des Technology Collaboration Program ETSAP der Internationalen Energieagentur, IEA. Das TIMES Model für Basel ist ein technologieorientiertes bottom-up Energiemodell, in dem ein Kostenoptimierungsansatz unterstellt ist.

² Die Szenarien wurden im Rahmen der Energiestrategie 2050 vom Bundesamt für Energie in Auftrag gegeben und dienen hier als Rahmenwerk. Folgende Variablen wurden aus den nationalen Szenarien für die vorliegenden Berechnungen übernommen: Kosten für den Bezug von Strom aus dem Übertragungsnetz der Schweiz, CO₂-Preispfade, Annahmen zu Energieeffizienzverbesserungen bei Geräten der Endbenutzer, maximale Renovationspotenziale verschiedener Gebäudearten und Brennstoffpreise

Ergebnisse im graphischen Überblick

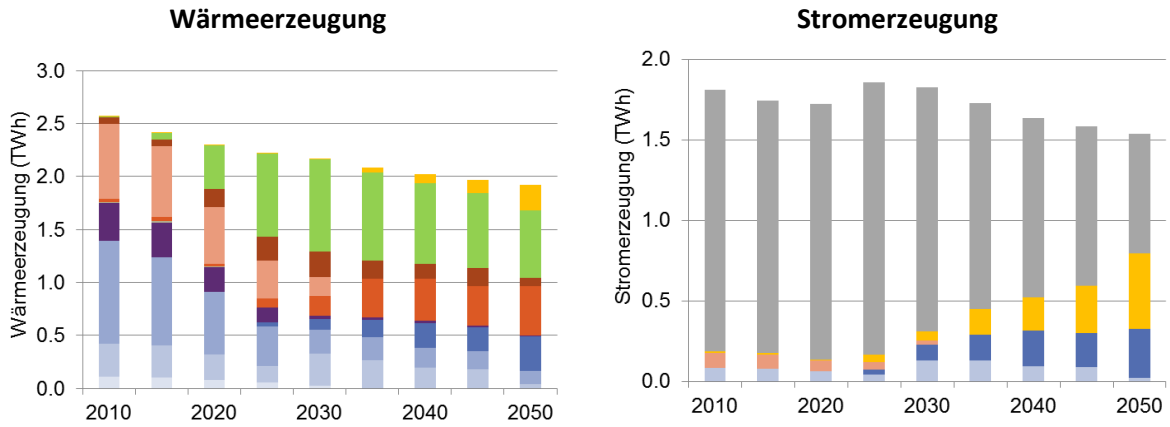


Abbildung 1: Wärme- (links) und Elektrizitätsbereitstellung (rechts) nach Technologie für das WWB-Gas Szenario im 2050

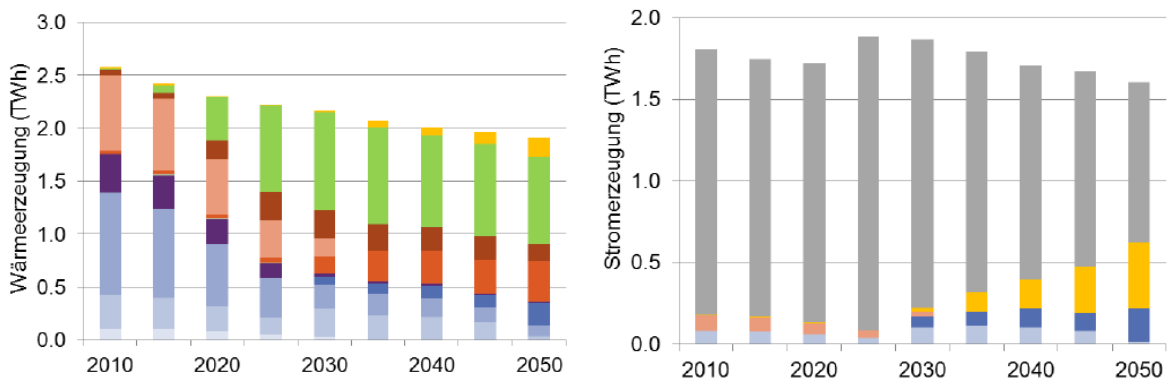


Abbildung 2: Wärme- (links) und Elektrizitätsbereitstellung (rechts) nach Technologie für das WWB-Import Szenario im 2050

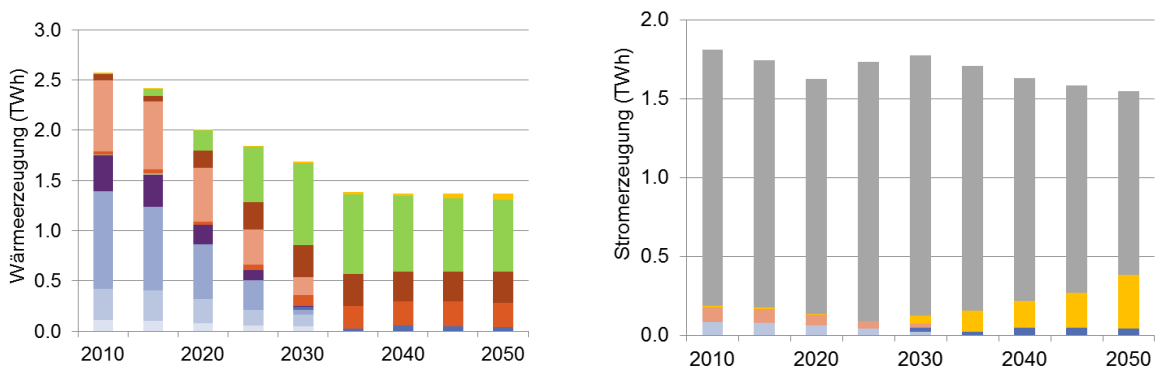


Abbildung 3: Wärme- (links) und Elektrizitätsbereitstellung (rechts) nach Technologie für das NEP-Gas Szenario im 2050 (Resultate von NEP-Import sehr ähnlich, deshalb nicht abgebildet)

- | | | | | | |
|----------------------------|--------------|-----------|----------------------|-------------------------------------|--|
| Wärmeezeugungstechnologien | | | | Elektrizitätserzeugungstechnologien | |
| Gaskessel (FW) | Gas-KWK (FW) | Gaskessel | Gas-KWK (FW) | Klein-Gas-KWK | |
| Klein-Gas-KWK | Ölkessel | | Abfall/Holz-KWK (FW) | PV | |
| Abfall/Holz-KWK (FW) | Abfallkessel | | Netz | | |
| Wärmepumpe | Solarthermie | | | | |

Wärmebedarf

Zur Deckung des Wärmebedarfs werden gemäss den Berechnungen in Basel langfristig (2050) hauptsächlich folgende Technologien eingesetzt:

- Wärmepumpen
- Anlagen zur Verbrennung von Abfall
- Kleine Gas Kraftwerke (KWK – Kraft-Wärme-Kopplung); insbesondere in den WWB-Szenarien

Photovoltaikanlagen tragen im Jahr 2050 zwischen 25%-30% zur Stromerzeugung bei, unabhängig davon, welches Szenario betrachtet wird.

Die strukturellen Veränderungen, die über die Zeit beobachtet werden können, ähneln sich zwischen den Szenarien: Der Wärmebedarf nimmt in allen Szenarien über die Zeit ab, was vor allem auf die Durchführung von Renovationsmassnahmen zurückgeführt werden kann. Das Renovationspotenzial wird dabei im NEP-Szenario höher eingeschätzt als im WWB-Szenario. Durch verstärkte Renovationsaktivitäten reduziert sich der Wärmebedarf und entsprechend auch der Bedarf an Wärmespeichern, der im NEP-Szenario um 40% unter dem Bedarf des WWB-Szenarios liegt. Die Renovation bestehender Gebäude kann – gemäss der getesteten Szenarien und Parameter - somit ein gutes Mittel sein, um die Energiekosten zu senken.

Solarthermische Lösungen spielen langfristig eher eine kleine Rolle. In beiden Szenarien WWB wie auch NEP sind in Basel vor allem Wärmepumpen Bestandteil eines kostenoptimalen Energiesystems. Dies setzt voraus, dass Wärmepumpen so konfiguriert sind, dass sie grossflächig Anwendung finden können. Zum Beispiel betrifft dies die Geräusentwicklung sowie Installationsmöglichkeiten in dicht besiedelten Gebieten. Weitere Informationen zur Gebäudestruktur wären nötig, um darüber Aussagen machen zu können.

CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen im Kanton Basel Stadt sind in einem „Gas“-Szenario höher als in einem Szenario, in dem der zusätzliche Bedarf mit Stromimporten aus dem Netz gedeckt wird. In beiden Szenarien liegen jedoch die CO₂-Emissionen in Basel unter den national angestrebten Reduktionszielen, was dank dem relativ geringen Wärmebedarf erreicht wird. Die unterstellten Preise für CO₂-Emissionen haben einen grossen Einfluss auf die Anteile an Gas und Photovoltaik im Elektrizitätsmix. Dies führt zu grossen Unterschieden bei den Emissionen zwischen den Szenarien führt: Bei einem hohen CO₂-Preis in den WWB-Szenarien reduzieren sich die Emissionen um 50%. Wird bei den NEP-Szenarien mit einem tiefen CO₂-Preis gerechnet, verdreifachen sich hingegen die Emissionen im Jahr 2050.

Stromproduktion

Bei der Stromproduktion in Basel spielen vor allem PV-Anlagen auf Dächern eine wichtige Rolle und zwar in allen Szenarien. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher langfristiger Entwicklungen der Kosten für Strom im Schweizer Elektrizitätsmarkt (WWB- und NEP-Szenarien) ist in Basel insbesondere die Stromerzeugung in Photovoltaikanlagen auf Hausdächern wettbewerbsfähig. Die Installation von solarthermischen Modulen zur Warmwassergewinnung ist aus ökonomischer Sicht weniger sinnvoll als die von Solarzellen, die sowohl Strom als auch Wärme (über Wärmepumpen)

bereitstellen können. Auch kleine Gaskraftwerke (KWK-Anlagen) spielen eine wichtige Rolle im WWB-Szenario, da durch den zusätzlichen Einsatz von Wärmepumpen der Elektrizitätsbedarf zunimmt. Im WWB-Szenario nimmt die Stromproduktion aus Gas im Jahr 2050 jedoch bedeutend ab (um 30%), sofern davon ausgegangen wird, dass Elektrizität via Stromnetz importiert werden kann. Die zukünftigen Kosten für die Erstellung von Klein- und Mikro-Gas-KWK-Anlagen weisen eine grosse Bandbreite auf. Die Analyse bezüglich dieser grossen Spannweite zeigt jedoch auch, dass die Ergebnisse der Modellrechnungen deutlich weniger empfindlich gegenüber diesen Kostenveränderungen sind als bei Veränderungen beim Gaspreis.

Speichertechnologien

Zum zeitlichen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch von Energie kommen Speichertechnologien eine wichtige Bedeutung zu. Entsprechend der Modellresultate werden bis zum Jahr 2050 vorwiegend Batterien im Gebäudebereich eingesetzt (40% davon in Industriebauten). Die Batteriespeicherkapazität im Jahr 2050 entspricht ca. 15% des Strombedarfs eines Werktages im Winter. Die installierte Speicherkapazität der Wärmespeicher im Jahr 2050 entspricht ca. 5% des Wärmebedarfs eines Werktages im Winter. Der Einsatz von Energiespeichern (Batterien und Wärmespeichern) trägt gemäss dem Modell zu einer kosteneffizienten Versorgung bei. Wärmespeicher führen zwar nicht direkt zu Emissionsminderungen, können den Einsatz von bereits emissionsfreien Technologien wie Wärmepumpen aber erleichtern. Kommt es zukünftig zu einer weiteren Degression der Kosten für Solar- und Batteriesysteme, können diese Technologien in grösserem Umfang den Auswirkungen der Preisschwankungen im Schweizer Stromnetz auf Basel entgegenwirken.

Sensitivitätsanalyse

Bei der Sensitivitätsanalyse zeigt sich, dass der Einsatz von kleinen Gaskraftwerken insbesondere im WWB-Szenario stark vom Preis für Erdgas abhängt: Bei einer Erhöhung des Gaspreises um 20% nimmt der Verbrauch im Vergleich zum Basis-WWB-Szenario um 50% ab; wird der Preis um 20% verringert, erhöht sich der Verbrauch um 65%. Auch die Kosten der PV-Anlagen zeigen eine hohe Sensitivität, insbesondere im NEP-Import-Szenario: Werden die PV-Kosten gegenüber den Referenzpreisannahmen um 25% erhöht, dauert es bis zum Jahr 2045, bis PV-Anlagen einen wesentlichen Teil des Elektrizitätsmixes darstellen. Werden die Kosten hingegen um 25% gesenkt, tragen PV-Anlagen bereits ab 2025 in grösserem Umfang zur Stromerzeugung bei. In diesen Fällen ist im Jahr 2050 die PV-Kapazität verglichen mit dem gewählten Basisszenario (NEP-Import) um 40% tiefer bzw. um 50% höher.

Fazit aus der Studie

Das Ziel von Basel, die CO₂-Emissionen bis 2020 um 20% zu senken (Basisjahr: 2000), ist für den Wärme- und Elektrizitätssektor erreichbar - eine entsprechende Bepreisung der CO₂-Emissionen vorausgesetzt. Die Ergebnisse der modellgestützten Szenarioanalyse weisen darauf hin, dass die nationalen Strategien (Szenarien WWB oder NEP) in Basel umgesetzt werden können, wobei sich langfristig eine Energieerzeugungs- und Verbrauchsstruktur einstellt, die relativ robust gegenüber der Veränderung verschiedener nationaler Rahmenbedingungen ist. Folgende Entwicklungen können beobachtet werden:

- ⇒ Ca. 50% des Wärmebedarfs kann bis im Jahr 2050 durch Wärmepumpen gedeckt werden.
- ⇒ Im Betrachtungszeitraum bis 2050 ist eine Reduktion des Strombedarfs um bis zu 10% auf nationaler Ebene und bis zu 14% für Basel möglich.
- ⇒ Die CO₂-Reduktion im Strom- und Wärmesektor in Basel unter den Bedingungen des NEP Szenarios sind stärker als die Reduktion im gesamten Schweizer Energiesystem.
- ⇒ PV-Dachanlagen sind auf nationaler Ebene wie auch für Basel eine Schlüsseltechnologie und können bis zu 30% des jährlichen Strombedarfs der Stadt decken.
- ⇒ Der Gas-Anteil am Endenergieverbrauch ist in Basel bedeutend kleiner als der Anteil für die gesamte Schweiz (5% vs. 25%).
- ⇒ Hingegen spielt die Fernwärme in Basel eine grössere Rolle verglichen mit dem gesamten Schweizer Energiemix der Verbraucher (20% vs. 10% Anteil am Endenergieverbrauch).
- ⇒ Auch die energetische Verwertung lokaler Abfallstoffe spielt in Basel eine grössere Rolle für die Deckung des Wärmebedarfs als im nationalen Durchschnitt.

Bis 2050 können die lokalen CO₂-Emissionen der Wärme- und Stromerzeugung um 50% - 70% (WWB-Szenarien) bzw. um 90% (NEP) verringert werden. Zwei Faktoren sind für die Reduktion der Emissionen entscheidend:

- ⇒ CO₂-Preise haben einen wesentlichen Einfluss auf die CO₂-Reduktionen und motivieren neben einem Technologiewandel bei der Energiebereitstellung auch zu Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz bei den Verbrauchern.
- ⇒ Die Energienachfrage muss durch effizientere Geräte bei der Benutzerin / dem Benutzer sowie durch Renovationsmassnahmen von Gebäuden reduziert werden.

Bleibt der Endverbrauch hoch (WWB-Szenario), spielen Elektrizitäts- und Gaspreise in der weiteren Entwicklung des Energiesystems in Basel eine grosse Rolle. Nimmt der Verbrauch jedoch ab (gemäss NEP-Szenario), sind die Preise weniger bedeutend, da der Wärmebedarf grösstenteils aus Abfallverwertung und Wärmepumpen gewonnen werden kann.

Dezentrale Energie- und Speichertechnologien können in allen betrachteten Szenarien kosteneffizient zur zukünftigen Wärme- und Elektrizitätsproduktion in Basel beitragen. Je tiefer die Kosten für PV-Anlagen und Batterien sind, desto stärker ist deren Verbreitung im Basler Energiesystem und desto besser kann Preisschwankungen im Schweizer Übertragungsnetz entgegengewirkt werden, um damit Kosteneinsparungen während Nachfragespitzen zu erreichen.

Politik-Empfehlungen für den Kanton Basel-Stadt

Aufgrund der Resultate aus der Studie geben die Studienautoren folgende Empfehlungen ab:

- ⇒ Abbau der Hemmnisse zur Durchführung von Gebäuderenovationen
- ⇒ Förderung von energieeffizienten Geräten für Endverbraucher, um den lokalen Wärme- und Elektrizitätsbedarf zu verringern
- ⇒ Erleichterung der Installation von dezentralen Energietechnologien; insb. Photovoltaikanlagen auf Dächern und Wärmepumpen für private Haushalte und im Wirtschafts- / Sektors sowie kleine Gaskraftwerke (KWK) für die Industrie
- ⇒ Unterstützung der Bevölkerung zur Zielerreichung der Energiespar- und CO₂-Reduktionsziele z.B. durch Bildungskampagnen, die Erhöhung der sozialen Akzeptanz (Verhaltensänderungen) sowie die Förderung lokaler Aktivitäten