Karlsruher Institut für Technologie

JASMIN FRIEDRICH jasmin.friedrich@kit.edu

ITAS Institute for Technology Assessment and Systems Analysis

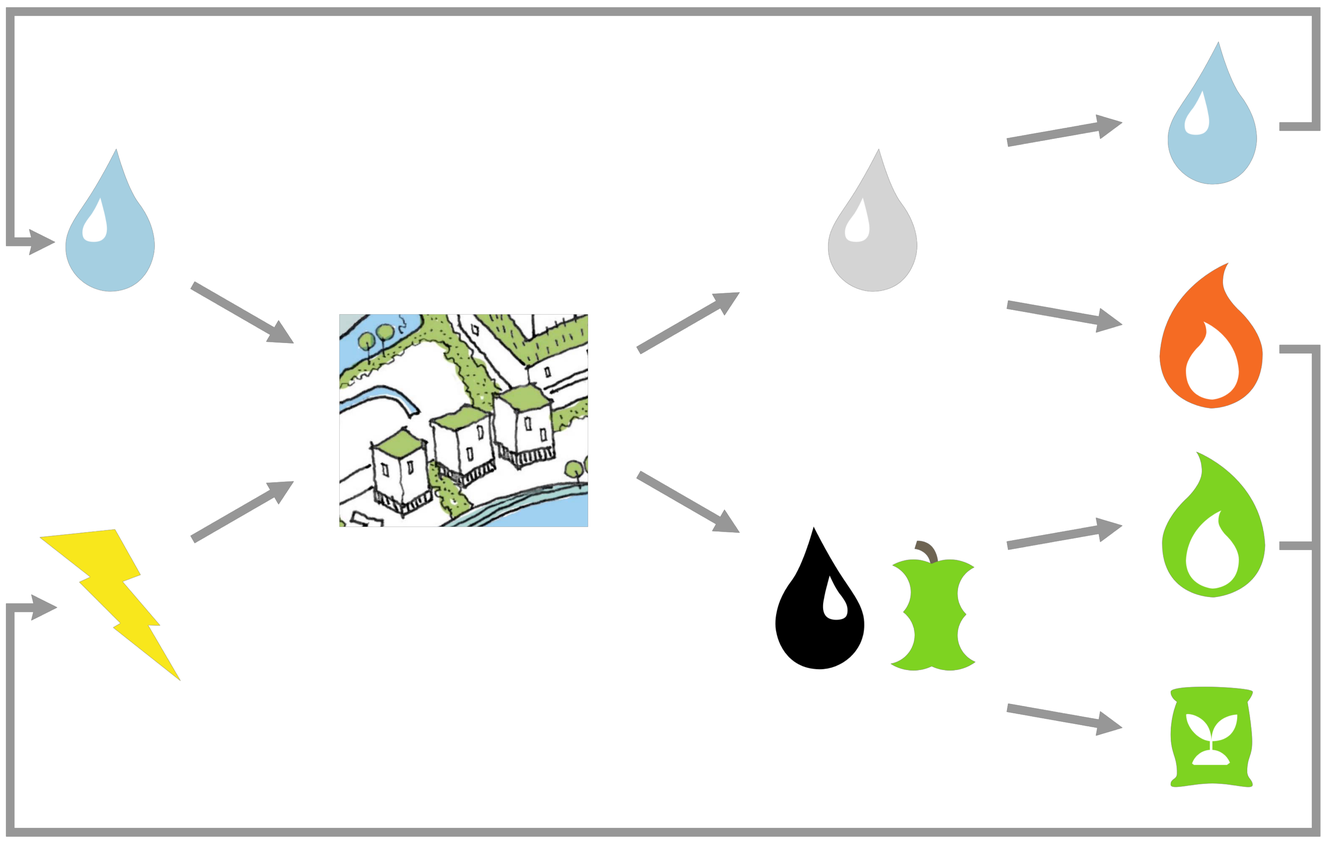
Optimierung der Nachhaltigkeitsperformance des Wasser-Energie-Nexus im städtischen Gebäudebestand

Status Quo

- Verwendung von Trinkwasser für alle Haushalts-zwecke unabhängig der Qualitätsanforderungen
- Verlust der Wärme aus der Warmwasserbereitung
- Behandlungs- und damit energieintensives Mischabwasser
- Transformation des Gebäudebestandes als „zu teuer / kompliziert“ erachtet, obwohl dieser maßgeblich zu den gesamten THG-Emissionen beiträgt

Transformation

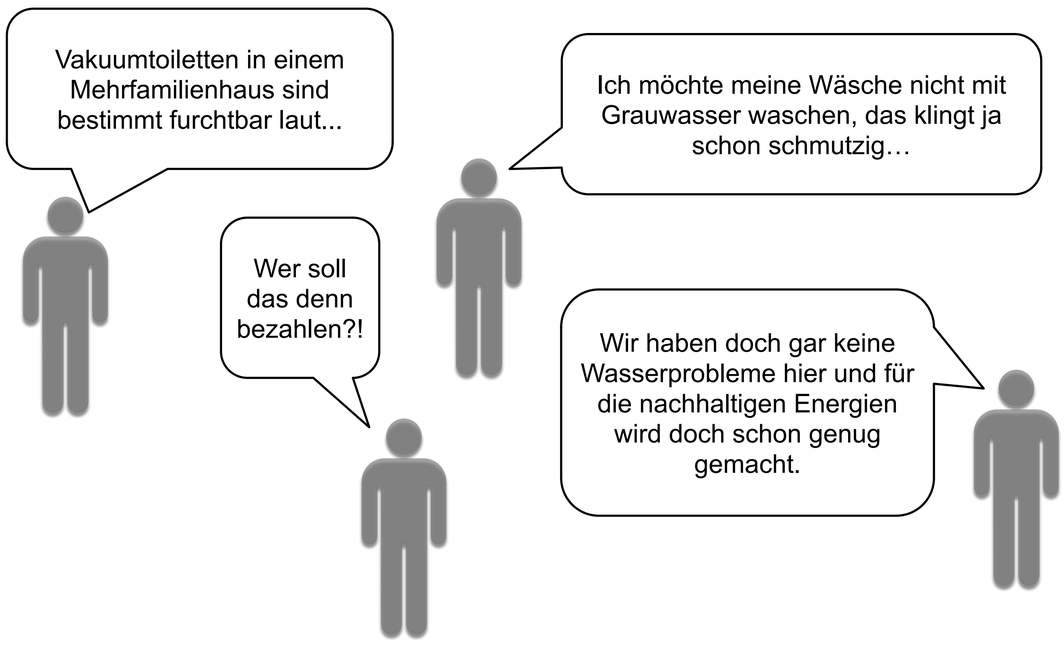
Siedlungswasserwirtschaft leistet einen Beitrag für die Energieversorgung der Stadt von Morgen



- Trennung der Abwasserteilströme nach Verschmutzungs- und Wärmegrad
- Aufbereitung von Grauwasser (z.B. aus der Dusche) zur Wiederverwendung
- Wärmerückgewinnung aus Grauwasser
- Erzeugung von Biogas aus Schwarzwasser (aus der Toilette) und biogenen Abfällen, um einen Teil der nicht erneuerbaren Energieressourcen zu ersetzen
- Rückgewinnung von Nährstoffen (z.B. Phosphor, Stickstoff) aus dem Schwarz-wasser, um einen Teil der energieintensiven industriellen Produktion zu ersetzen

Nachhaltigkeitsbewertung

- Transformation erfordert materiellen, energetischen und finanziellen Aufwand, sowie Änderungen der Nutzer-schnittstellen (z.B. Vakuumtoilette), d.h. teils tabuisierte und stark von Konventionen geprägte Bereiche
- Kontextualisierte Nachhaltigkeitsbewertung notwendig, die über die rein technologiebezogene Kriterien hinausgeht
- Ermittlung von Umweltwirkungen (Ökobilanzierung), Kosten und Nutzerperspektiven



Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Energie-Campus 2018:

„Energie und Umwelt – Meine Idee für Morgen“

Optimierung der Nachhaltigkeitsperformance des Wasser-Energie-Nexus im städtischen Gebäudebestand

Jasmin Friedrich

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)

Dissertation im Rahmen des Kooperativen Promotionskollegs Energiesysteme und Ressourceneffizienz (ENRES)

Dissertationszeitrahmen: 1.10.2016 – 1.10.2019

Jasmin.friedrich@kit.edu

Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe

Tel.: +49 721 608-26874

1. Der Wasser-Energie-Nexus im urbanen Gebäudebestand

Laut Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit entfällt in Deutschland ein Großteil des Gesamtenergiebedarfs und ein erheblicher Anteil der gesamten Treibhausgas-Emissionen auf den städtischen Wohngebäudebestand. Während die Planung und Gestaltung energieeffizienter Neubauten bereits fortgeschritten ist, werden die 18 Millionen Wohngebäude im Bestand in Hinblick auf eine nachhaltigere Gestaltung des Wasser-Energie-Nexus, die durchaus mit einem effizienteren Energieeinsatz einhergeht, vielfach nicht berücksichtigt. Maßnahmen werden dabei a priori als „zu komplex“ und „zu teuer“ verworfen. Dabei kommt insbesondere dem städtischen Bestand eine identitätsstiftende Wirkung zu, der somit als ein Kernstück einer Aktivierung möglicher Optimierungspotentiale und nachhaltiger Stadtentwicklung fungieren könnte. Die fehlende Einbeziehung bedeutet folglich auf bisher nicht ausgeschöpfte Energie- und Ressourcenpotenziale zu verzichten und den möglichen Beitrag der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft für die Energieversorgung der Stadt von morgen zu vernachlässigen.

2. Untersuchungskontext

Um die Potentiale des Wasser-Energie-Nexus für den urbanen Gebäudebestand mit möglichst vielen und verlässlichen Daten zu untersuchen, erfolgen die Untersuchungen in Anlehnung an das Wohnviertel Rohrbach-Hasenleiser der Stadt Heidelberg mit rund 5000 Einwohnern. Es zeigt durch die unterschiedlichen Gebäudetypen die Herausforderungen, die der Gebäudebestand durch seine Diversität an wissenschaftliche Modellierungen und städtebauliche Planung stellt. Darüber hinaus wird das Viertel als Referenz gewählt, da es in den 1970ern entstanden ist, d.h. vor der ersten Wärmeschutzverordnung 1977. In der Regel sind Gebäude dieses Baujahres folglich noch keiner vollständigen energetischen Modernisierung unterzogen worden, wodurch das analysierte Viertel in nicht zu ferner Zukunft tatsächlich für Transformationsstrategien in Betracht gezogen werden könnte.

Das Status-Quo-System, das den Wasser-Energie-Nexus im Stadtviertel gegenwärtig formt, wird durch ein typisches zentrales Trinkwasserver- und Mischwasserentsorgungssystem sowie durch eine zentrale Wärmeversorgung und Bioabfallentsorgung gestaltet. Die Haushalte werden mit Trinkwasser und Fernwärme versorgt und die hier betrachteten anfallenden Abfallstoffe, d.h. biogene Abfälle und Abwasser, werden via Müllabfuhr und Kanalbestand transportiert und in einem zentralen Kompostwerk bzw. Klärwerk unter einem energetischen Aufwand behandelt. Anschließend erfolgt im Falle der biogenen Abfälle typischerweise eine Weiterverarbeitung zu Kompost und im Falle des Abwassers eine Entsorgung in das lokale Fließgewässer.

3. Systemalternativen

3.1 Ziel der Systemalternativen

Im Gegensatz zum beschriebenen Status-Quo sind Systemalternativen für den städtischen Wasser-Energie-Nexus, wie sie beispielweise in Neubaugebieten im Hamburger Stadtquartier Jenfelder Au oder der Stadt Knittlingen bereits realisiert werden, durch ein wechselseitiges Verhältnis geprägt: Die wasserwirtschaftlichen und bioabfallbedingten Leistungen sind nicht vordergründig an energetische Aufwände gekoppelt, sondern ermöglichen eine energetische Einsparung bei der Trinkwasserbereitstellung sowie Abwasserbehandlung und die Nutzbarmachung des Abwasser als Wertstoff und Energieträger sowie die Schließung von Nährstoff-kreisläufen. Voraussetzung hierfür ist eine Trennung der Abwasserteilströme, da nur auf diese Weise die Wärme- und Nährstoffkonzentration der einzelnen Ströme erhalten und die Menge an behandlungsintensivem Abwasser reduziert werden kann.

3.2 Entwicklung der Systemalternativen für den Untersuchungskontext

Gemeinsam mit Experten aus der Praxis und durch Entwicklung von Entscheidungs-bäumen für alle technologischen Komponenten werden drei auf Teilstromtrennung basierender Systemalternativen für das genannte Stadtviertel entwickelt, welche die Besonderheiten des Gebäudebestandes berücksichtigen. Die drei entwickelten Systemalternativen zeigen dabei verschiedene Transformationsgrade, d.h. bilden sowohl die Integration des bestehenden Systems (Systemalternative 1 & 2) als auch den Extremfall einer vollständigen Dezentralisierung und Außerbetriebnahme des Kanal-bestandes ab (Systemalternative 3).

3.3 Beschreibung der Systemalternativen

In allen drei Systemalternativen erfolgt die Abwasserteilstromtrennung in zwei Teilströme: In das warme, gering verschmutzte Grauwasser z.B. aus Dusche und Waschmaschine und in das nährstoffreiche, jedoch kalte und stark kontaminierte Schwarzwasser aus der Toilette, da diese Trennung innerhalb des bestehenden Rohres durch eine Rohr-in-Rohr-Lösung realisiert werden kann.

3.3.1 Schwarzwasser & biogene Küchenabfälle

Das Schwarzwasser wird in allen Systemalternativen durch eine Vakuumtoilette abgesaugt, wodurch anstelle 7-9 l je Spülung lediglich 0,75 l Wasser benötigt werden. Das Schwarzwasser wird dann je Systemalternative entweder durch eine im Kanal-bestand verlegte (Systemalternative 1 & 2) oder eigens verlegter Vakuumtrasse (Systemalternative 3) zur Biogasanlage im Stadtviertel transportiert.

Je nach Systemalternative werden dem Schwarzwasser dann entweder durch einen Zerkleinerer in der Küchenspüle (Systemalternative 2 & 3) oder durch eine der Biogasanlage vorgeschaltete Zerkleinerungsanlage die biogenen Abfälle (Systemalternative 1) zugeführt. Bei Integration der Zerkleinerers in den Haushalten selbst entfällt der Müllabfuhrtransport. Durch die Beimengung des Bioabfalls kann die Biogasausbeute gesteigert werden.

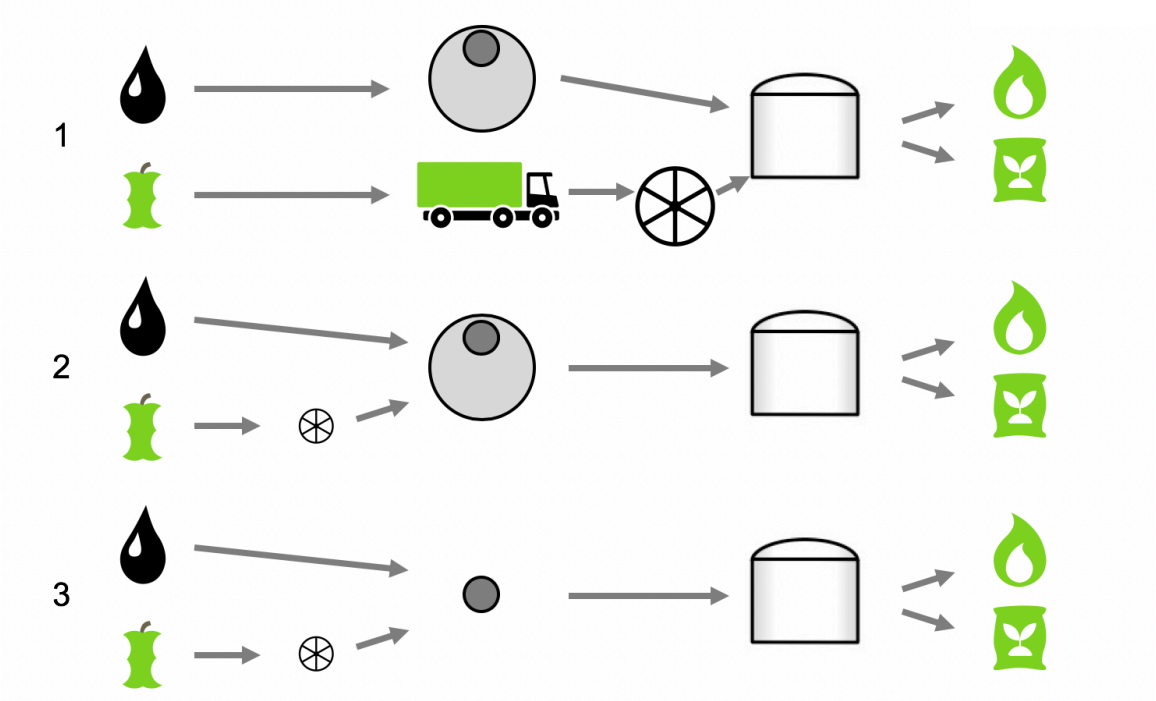


Abb.1: Schwarzwasser und biogene Küchenabfälle in den Systemalternativen (1, 2 und 3)

Das erzeugte Biogas wird in allen Systemalternativen zur Deckung des Eigenenergiebedarfs der Biogasanlage sowie im Stadtviertel zur Warmwasserbereitung und Raumwärmebereitstellung eingesetzt und ersetzt einen Teil der bisherigen, nichterneuerbaren Energieressourcen für diese beiden Haushaltszwecke. Durch den Einsatz des bei der Biogaserzeugung zurückbleibenden Gärrest als Düngemittel werden u.a. die im Schwarzwasser enthaltenen Phosphor-, Kalium- und Stickstoffressourcen wieder zugänglich gemacht und dadurch die zur Düngerproduktion notwendige Energie entsprechend reduziert. Im analysierten Stadtviertel können im Vergleich zur konventionellen Kompostierung so 20-mal mehr Stickstoff sowie etwa das Siebenfache an Kalium und Phosphor rückgewonnen werden. Die Rückgewinnung ist eine bedeutende Funktion der Systemalternativen, da die industrielle Herstellung dieser Nährstoffe äußerst energieintensiv ist. So erfordert die Herstellung einer Tonne Stickstoff rund 22 MWh, einer Tonne Phosphors rund 5 MWh und einer Tonne Kalium rund 4 MWh.

3.3.2 Grauwasser & Regenwasser

Um auf die Kontroverse einzugehen, ob Wasserrecycling im relativ wasserreichen Deutschland sinnvoll ist, wird bei einer der Systemalternativen (Systemalternative 1) lediglich über einen Wärmetauscher im Hauptkanal des Stadtviertels Wärme aus dem Grauwasser entzogen, das abgetrennte Grauwasser jedoch nicht wiederverwendet. Bei den beiden anderen Systemalternativen (Systemalternative 2 & 3) wird dem Grauwasser in Anlagen je Gebäude direkt die Wärme entzogen, um mögliche Wärmeverluste durch den Transport auszuschließen. In allen Fällen wird die rückgewonnene Wärme im Stadtviertel zur Warmwasserbereitung und zur Raumwärmebereitstellung eingesetzt und ersetzt einen Teil der bisherigen, nicht-erneuerbaren Energieressourcen für diese beiden Haushaltszwecke. In den beiden Systemalternativen (Systemalternative 2 & 3), in denen Grauwasser wiederverwendet wird, wird das aufbereitete Grauwasser für die Haushaltszwecke, die nicht spezifisch den Trinkwasserqualitätsanforderungen unterliegen, d.h. für alle Haushaltszwecke außer „Nahrungsmittelzubereitung“, „Geschirrspülen“ und „Körperpflege“, verwendet. Da durch die Grauwasserwieder-verwendung weniger Trinkwasser bereitgestellt werden muss, wird auch weniger Energie zur Trinkwasserbereitstellung benötigt.

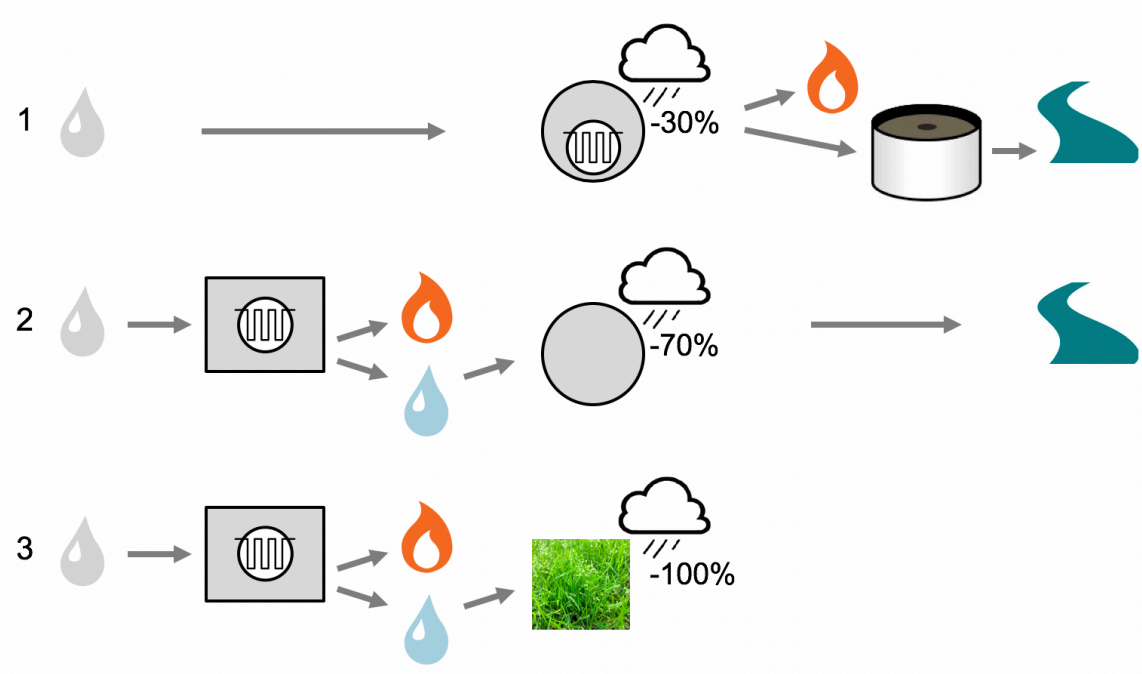


Abb.2: Grauwasser und Regenwasser in den Systemalternativen (1, 2 und 3)

Um die Menge an behandlungsintensivem Abwasser zu reduzieren, verringern darüber hinaus alle Systemalternativen den Regenwasseranteil, der vom System verarbeitet werden muss, durch Maßnahmen zur Versickerung und Verdunstung. Dies hat folgende Auswirkungen: Wird nur Grauwasser und ein reduzierter Regenwasseranteil behandelt (Systemalternative 1), benötigt die zentrale Kläranlage aufgrund der geringeren und weniger verschmutzten Abwassermenge deutlich weniger Energie. Wird hingegen das Grauwasser vollständig in den Haushalten aufbereitet (Systemalternative 2 & 3), kann

die zentrale Kläranlagen unter Umständen sogar entfallen, da eine Direkteinleitung des überschüssigen aufbereiteten Grauwassers (Systemalternative 2) und des reduzierten Regenwasseranteils in das Fließgewässer erfolgen kann. Wird das überschüssige aufbereitete Grauwasser lokal beispielweise für Bewässerungs- oder Wassergestaltungszwecke verwendet und entfällt der Regenwasseranteil, der vom System verarbeitet werden muss, durch lokale Maßnahmen gänzlich (Systemalternative 3), kann neben der zentralen Kläranlage auch der Kanal außer Betreib genommen werden.

4. Nachhaltigkeitsbewertung

Durch die Trinkwasserreduktion, Verringerung des Energiebedarfs, Erzeugung erneuerbarer Energie sowie Nährstoffrückgewinnung werden die zuvor beschriebenen Systemalternativen im Vergleich zum Status-Quo-System vielfach als nachhaltiger erachtet. Ihre Realisierung ist jedoch mit einem materiellen und energetischen Einsatz sowie Kosten verbunden. Außerdem erfordern die Systemalternativen auch Änderungen der Nutzerschnittstellen (z.B. in Form einer Vakuumtoilette) und greifen damit direkt in sehr intime bzw. stark von Konventionen geprägte Vorgänge in den Haushalten ein. Daher erfordern die Systemalternativen eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung, die es ermöglicht sie über die rein technologiebezogenen Kriterien zu beurteilen.

Für die Nachhaltigkeitsbewertung des Wasser-Energie-Nexus werden Indikatoren kontextualisiert bzw. neu entwickelt. In die Bewertung fließen eine Ökobilanzierung, eine Kostenbewertung und ein Projekt, bei dem die Perspektiven der Nutzer im Bestandsviertel zum Wasser-Energie-Nexus und zu den alternativen Technologiekomponenten erhoben werden, ein.

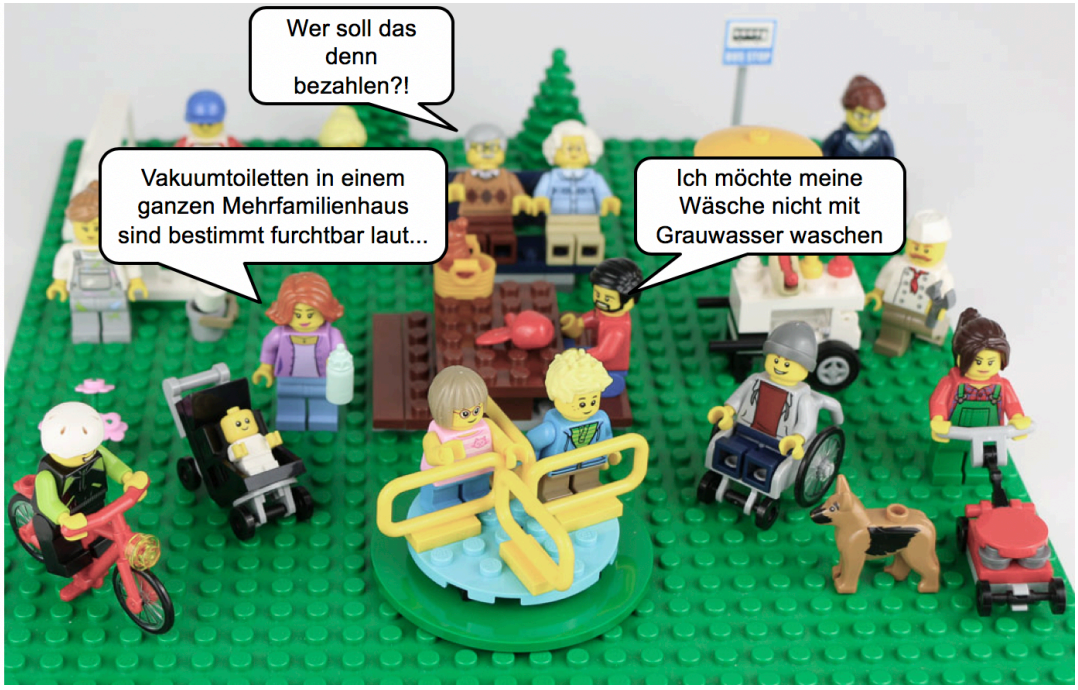


Abb.3: Nutzerperspektiven zum urbanen Wasser-Energie-Nexus

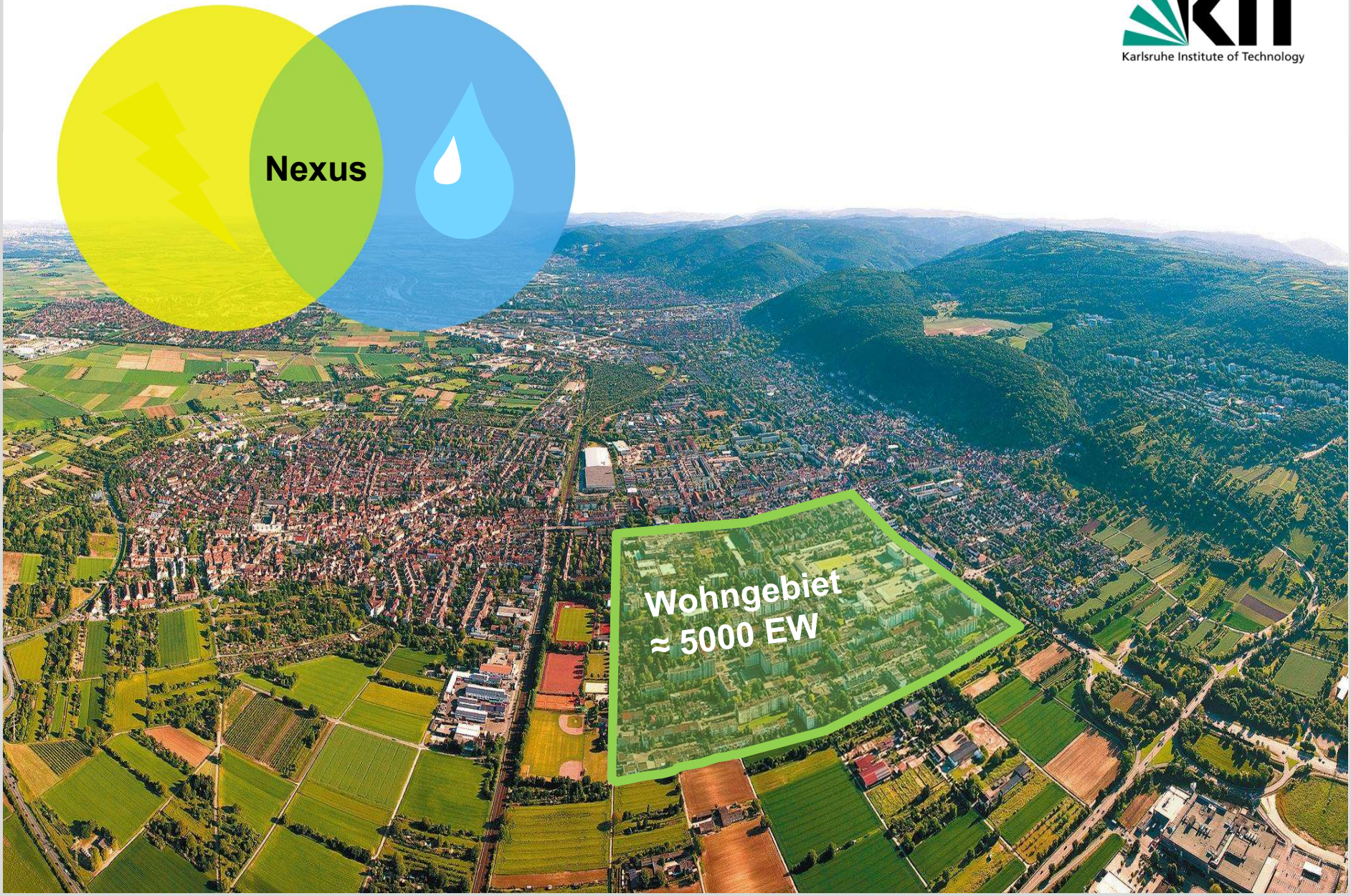
Karlsruher Institut für Technologie

ITAS Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

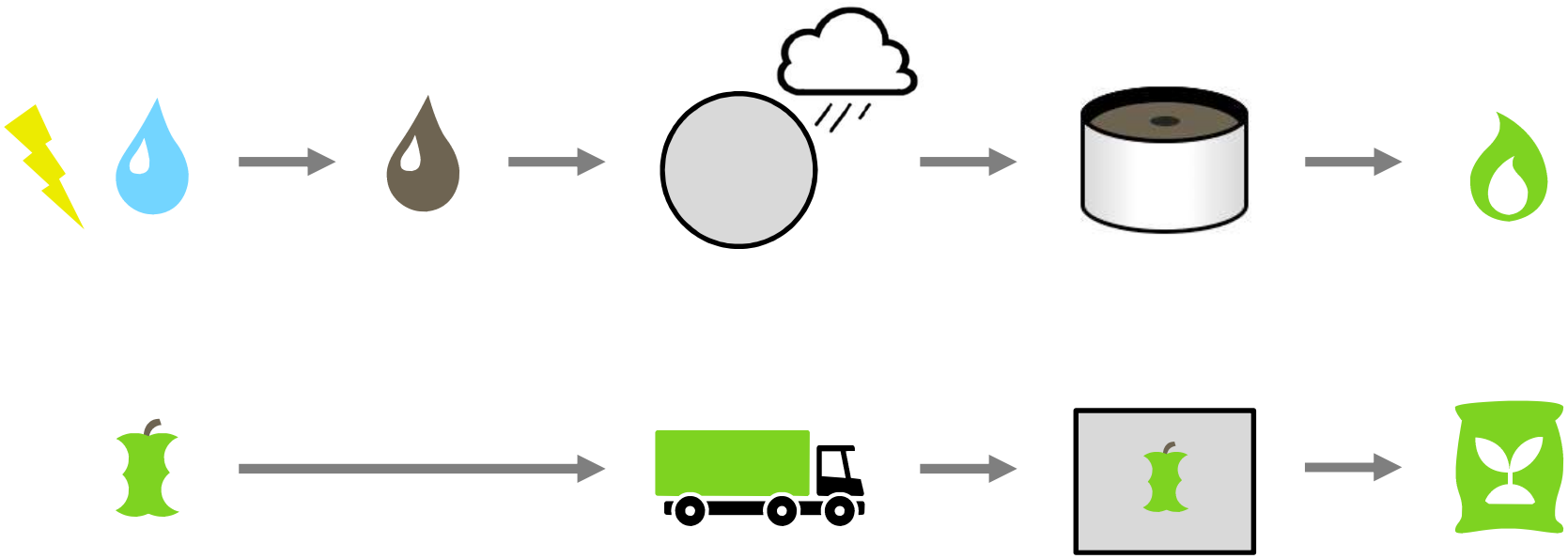
Optimierung der Nachhaltigkeitsperformance des Wasser-Energie-Nexus im städtischen Gebäudebestand

Jasmin Friedrich

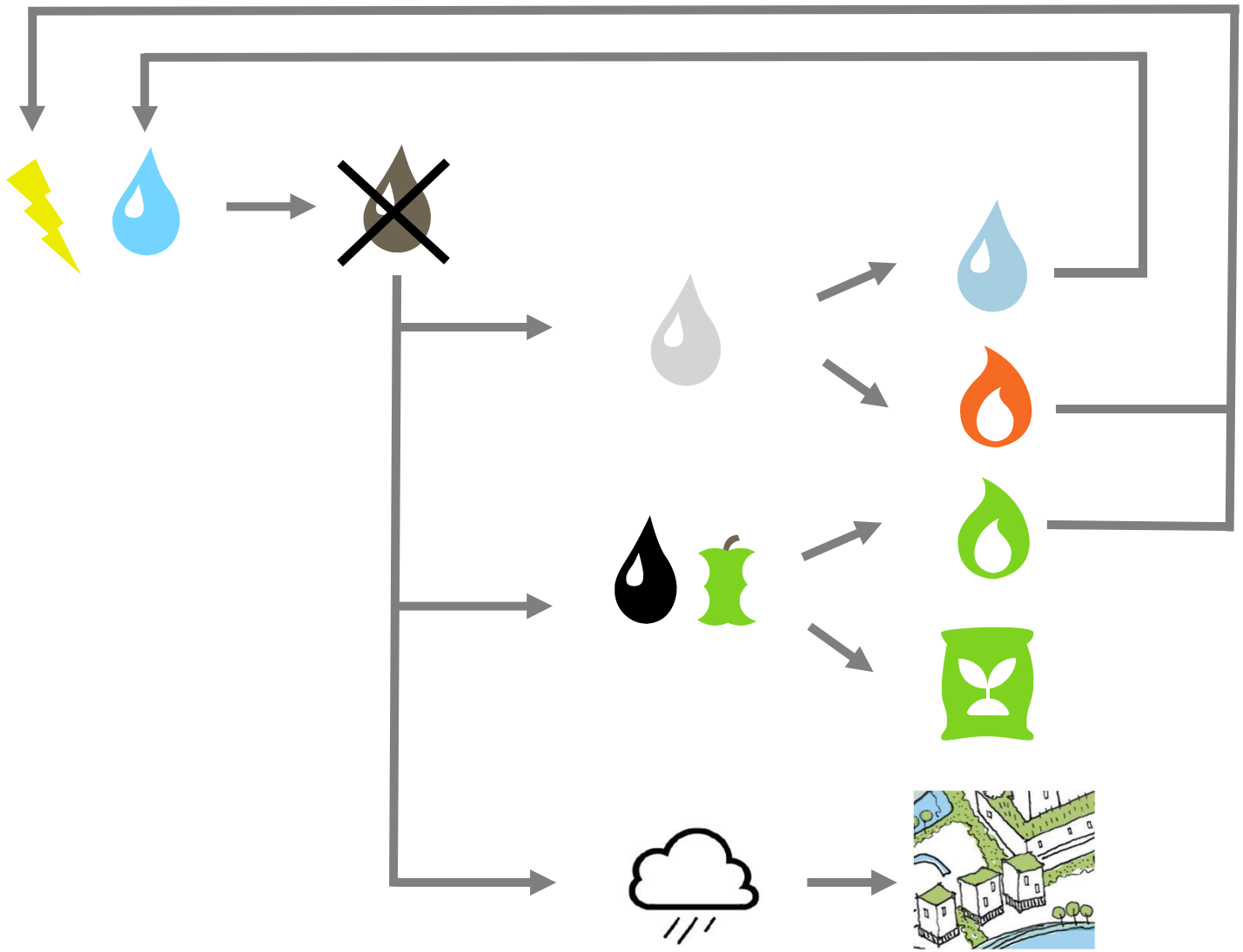
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemalternative (ITAS)


Nexus
Wohngebiet
≈ 5000 EW

Status-Quo-System



Systemalternativen



Nachhaltigkeitsbewertung

Nachhaltiger, weil...

- Trinkwasserreduktion
- Verringerung des Energiebedarfs
- Erzeugung erneuerbarer Energie
- Nährstoffrückgewinnung

Wirklich nachhaltiger?

- Materieller/energetischer Einsatz
- Kosten
- Eingriff in intime, stark von Konventionen geprägte Vorgänge

Nutzerperspektiven

DANKE FÜRS ZUHÖREN!
FRAGEN?