

Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



**Life Sciences und  
Facility Management**

**IUNR Institut für Umwelt und  
Natürliche Ressourcen**



# **Ein Technologiekonzept für multi-funktionale Fassaden**

**Potentialabschätzung**

KTI Projekt-Nr: 27263.1 INNO-IW

**Abschlussbericht Innovationsscheck**

**Bild Titelseite**

«Townhouse» mit Klimahülle, Quelle: Karasu, kein Datum [1]

**Auftraggeber**

Alex Gemperle AG  
Alte St. Wolfgangstrasse 11  
6331 Hünenberg

**Autoren**

Devi Bühler, Prof. Dr. Ranka Junge

**Copyright © 2018**

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen  
Forschungsgruppe Ökotechnologie  
Grüntal  
8820 Wädenswil

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Auftrag</b> .....	<b>6</b>
2.1.	Beschreibung	6
2.2.	Vorgehensweise	6
<b>3.</b>	<b>Grundlagen Technologien</b> .....	<b>7</b>
3.1.	Klimahülle mit Sole-Absorberbox	7
3.1.1.	Gebäudeprototyp mit Gewächshaus als Feuchtluft-Solarkollektor	9
3.2.	Vertikale Pflanzenkläranlage	11
3.3.	Semi-transparente Photovoltaik-Module	12
<b>4.</b>	<b>Kombination der Technologien</b> .....	<b>13</b>
4.1.	Beispiel Einfamilienhaus	13
<b>5.</b>	<b>Umsetzung an einer Fallstudie</b> .....	<b>14</b>
<b>6.</b>	<b>Potentialabschätzung</b> .....	<b>17</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>18</b>
	<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>19</b>

## 1. Ausgangslage

Die zunehmende Urbanisierung und Ressourcenknappheit zwingt uns dazu, den städtischen Raum effizienter und nachhaltiger zu nutzen. Der Boden wird zunehmend knapp, während vielfältige Interessen hinsichtlich der Bodennutzung miteinander konkurrenzieren. Um den Druck auf den Boden zu reduzieren, rückt nun die Nutzung von Dächern und Fassaden zunehmend in den Fokus. Alleine in der Schweiz gibt es 1360 km<sup>2</sup> Flächen auf Hausdächern und Fassaden [2]. Dächer werden bereits vielerorts genutzt, beispielsweise für die Energiegewinnung mittels Sonnenkollektoren oder Photovoltaik, Dachbegrünungen, Dachgärten oder Dachterrassen. In manchen internationalen Grossstädten werden sogar Minigolfanlagen, Open-Air-Kinos, Spielplätze oder Pools auf dem Dach erstellt. Der Grossteil der Fassaden erfüllt jedoch keine weiteren Funktionen ausser dem Witterungsschutz. Durch die vertikale Ausrichtung ist die Nutzung von Fassaden auch eingeschränkt. Daher braucht es technisch angepasste Lösungen um diese Hürde zu überwinden. In manchen Fällen kann die vertikale Ausrichtung sogar vorteilhaft sein.

Um die ökologische Nachhaltigkeit von Städten zu fördern ist es sinnvoll Energie und Ressourcen (Wasser, Biomasse, Abfälle) möglichst dort zu produzieren und verwerten, wo sie gebraucht werden und vice versa. Die Dezentralisierung der Prozesse verhindert lange Transportwege und teure Investitionen in die Infrastruktur. Gleichzeitig können regenerative Energiequellen (z.B. Sonnenenergie, Windenergie) und ökologische Prozesse (z.B. Ökologische Wasserreinigung, Kompostierung) dezentral eingesetzt werden. In Städten gibt es für solche Installationen jedoch oft zu wenig Platz. Daher ist die Nutzung der Fassaden zur Energie- und Ressourcengewinnung bzw. -verwertung von besonderem Interesse.

Mit der Idee die konventionelle Gebäudefassade zu einer multifunktionalen Gebäudekomponente weiterzuentwickeln, könnte es gelingen ein Gebäude in ein eigenständiges „Energie- und Wasser-Kraftwerk“ zu verwandeln. Die Fassade würde genutzt um dem Gebäude Energie und Wasser zu liefern wodurch die Energie- und Wasserflüsse im Gebäude geschlossen wären.

Aus technischer Sicht wäre dies mit einer zusätzlichen Gebäudehülle aus Glas realisierbar. Die Glashülle ermöglicht die Kombination von Technologien zur Produktion und Verwertung von Energie und Wasser. Mit dieser Studie soll nun das Potential konkreter technologischer Entwicklungen untersucht werden und weitere Entwicklungsschritte aufgezeigt werden.

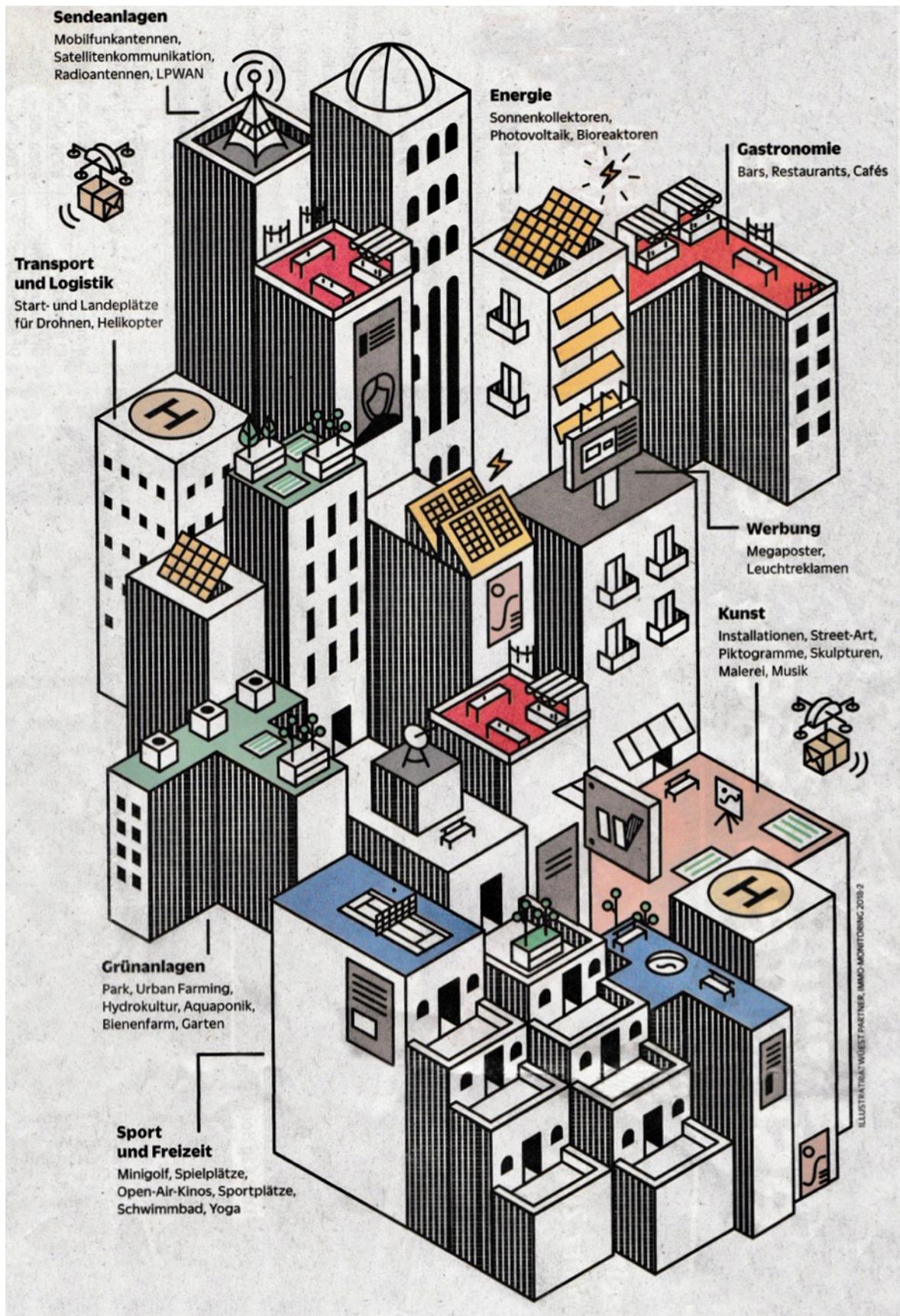


Abbildung 1: Die Stadt der Zukunft: Vielfältige Nutzungen von Dächern und Fassaden [2]

## **2. Auftrag**

### **2.1. Beschreibung**

Die Firma Alex Gemperle AG ist auf den Dach-, Fassaden- und Holzbau sowie dem Bau von Photovoltaikanlagen spezialisiert. Die Firma ist stets bestrebt nachhaltige Produkte und neue Entwicklungen anzubieten. Beispielsweise bauen sie viel mit Holz und planen innovative Solaranlagen (Solarpreis 2012 [3]). Bereits jetzt setzen sie fassadenintegrierte Solarmodule ein und nutzen so die Sonnenenergie für das Gebäude. Die Idee der multi-funktionalen Fassade ist eine vielversprechende Weiterentwicklung von bestehenden Ansätzen im konventionellen Fassadenebau. Es würde Schnittstellen zu bisherigen Ansätzen eröffnen und stellt eine konsequente Weiterführung in der Gebäudehüllentechnik dar, unter Einbezug neuer möglicher Tätigkeitsfelder. Mittels eines «Innovationsscheck für KMU» wurde die ZHAW mit einer Potentialabschätzung beauftragt. Ziel ist ausgewählte Technologien, die sich für den Einsatz in einer multi-funktionalen Fassade eignen, auf ihre konkrete Realisierbarkeit bei Neubauten oder bereits bestehenden Gebäuden zu prüfen.

### **2.2. Vorgehensweise**

Da die multi-funktionale Fassade mehrere Tätigkeitsfelder kombiniert (Energie, Wasser, Technik und Pflanzen) hat die Forschungsgruppe Ökotechnologie den Lead für die Studie übernommen. Nach einer Literaturrecherche zu den verschiedenen Technologien wurden mit anderen Forschungsgruppen der ZHAW und der TU Berlin die einzelnen Technologien im Detail angeschaut. Basierend auf den verfügbaren Daten wurde das Wissen konsolidiert und das Potential aufgezeigt. Zuletzt wurden weiterführende Fragen formuliert und eine Empfehlung für das weitere Vorgehen ausgearbeitet.

### 3. Grundlagen Technologien

Im Folgenden werden drei technologische Ansätze beschrieben, die anschliessend auf ihr Potenzial analysiert werden.

#### 3.1. Klimahülle mit Sole-Absorberbox

Die Sole-Absorberbox ist ein Phasenwechselsystem basierend auf einer hygroskopischen (wasseranziehenden) Salzlösung (Sole) in der Absorberbox. Das System kann in Gewächshäusern oder Gebäuden zur Regulierung des Klimas (Temperatur und Feuchtigkeit) eingesetzt werden. Beim Gebäude braucht es hierfür eine sogenannte Klimahülle. Dies ist ein Glasanbau an der Fassade, ähnlich einem Gewächshaus oder Wintergarten. Das Funktionsprinzip basiert darauf, dass durch Evaporation (z.B. durch Pflanzen) in der Klimahülle eine erhöhte Luftfeuchtigkeit entsteht. Die Feuchtigkeit wird von der hygroskopischen Salzlösung absorbiert, wobei Wärme für das Gebäude entsteht. Damit kann eine erhebliche Menge Energie und Wasser eingespart werden, da im geschlossenen System keine Lüftungsverluste entstehen und die anfallende Sonnenenergie in der Klimahülle für das Gebäude genutzt werden kann. Die Sonnenenergie wird thermo-chemisch in der Sole gespeichert. Die Klimahülle übernimmt daher die Funktion eines Sonnenkollektors. Je nach Anwendung und System kann die Absorberbox zusätzlich mit einem Sole-Speicher ausgestattet sein. Dies ermöglicht Energie zeitlich und örtlich getrennt und auf kleiner Fläche zu speichern.

Die Leistung einer Absorberbox beträgt 10 – 15 kg Wasser pro Stunde und 750 m<sup>3</sup> Luft pro Stunde [4]. Damit reicht eine Absorberbox um ein Einfamilienhaus zu versorgen. Für die bepflanzte Evaporationsfläche werden rund 13 m<sup>2</sup> benötigt. Verschiedene Anwendungen der Sole-Absorberbox werden in Forschungsprojekten an der ZHAW Winterthur und TU Berlin getestet.



Abbildung 2: Visualisierung der Klimahülle am «Townhouse» [1]



Abbildung 3: Futuristische Visualisierung einer Klimahülle [5]



Abbildung 4: Container mit Klimahülle in Berlin [6]

### 3.1.1. Gebäudeprototyp mit Gewächshaus als Feuchtluft-Solkollektor

Aktuell testet die TU Berlin in Kooperation mit Watergy GmbH (watergy.de) das Sole-Absorbersystem an einem Prototyp in Berlin Dahlem. Ziel ist ein Nullenergiehaus mit hoher Raumluftqualität und langfristiger Versorgungssicherheit zu erstellen. Die Absorberbox ist als „Energiezentrale“ Bestandteil des Gebäudesystems. Weitere Komponenten im Systems sind ein thermo-chemischer Speicher, ein Erdwärmetauscher sowie eine Klimahülle bzw. Gewächshaus.

Feucht-warme Luft aus der Klimahülle wird über die Absorberbox getrocknet und bei geringer Sonnenstrahlung direkt zur Beheizung in das Gebäude geführt. Während sonnigen Tagesabschnitten wird die bei der Lufttrocknung entstehende Wärme über die Sole aufgenommen und im Sole-Speicher für die kühlere Nacht oder Tage ohne Sonnenstrahlung gespeichert.

Über ein Erdwärmerohr wird die Zuluft je nach Jahreszeit vorgewärmt oder vorgekühlt. Im Winter kann die vorgewärmte Aussenluft zudem für die Regeneration (Eindickung) der Sole eingesetzt werden, um stetig genug hochkonzentrierte Sole für die Aufnahme von Wasserdampf aus der Klimahülle zu haben.

Die Speicherdichte der Sole (Salzlösung) ist um drei- bis viermal grösser als bei einem herkömmlichen Wasser-Wärmespeicher. Zudem entstehen bei der thermo-chemischen Speicherung keine Verluste. Dies hat den Vorteil, dass Investitionskosten für den Speicherbehälter und für Isolationsmaterial, insbesondere bei Umbauten, gespart werden können. Durch die Nutzung von regenerativen Energiequellen können Energiekosten eingespart werden. Zudem kann eine erhöhte Versorgungssicherheit bei stark schwankenden Energiepreisen gewährleistet werden.



Abbildung 5: Prototyp in Berlin Dahlem (links) und Absorberbox von Watergy (rechts) [6]

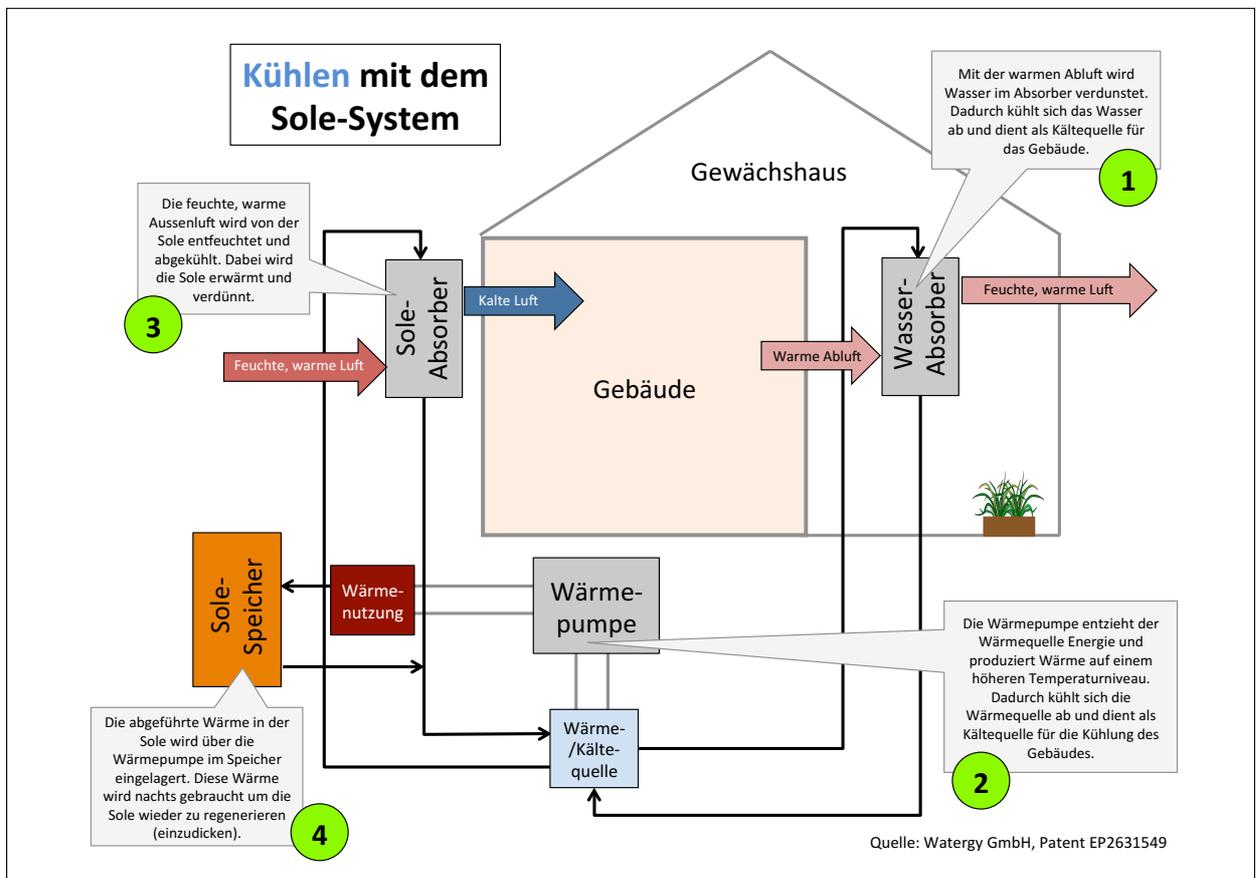
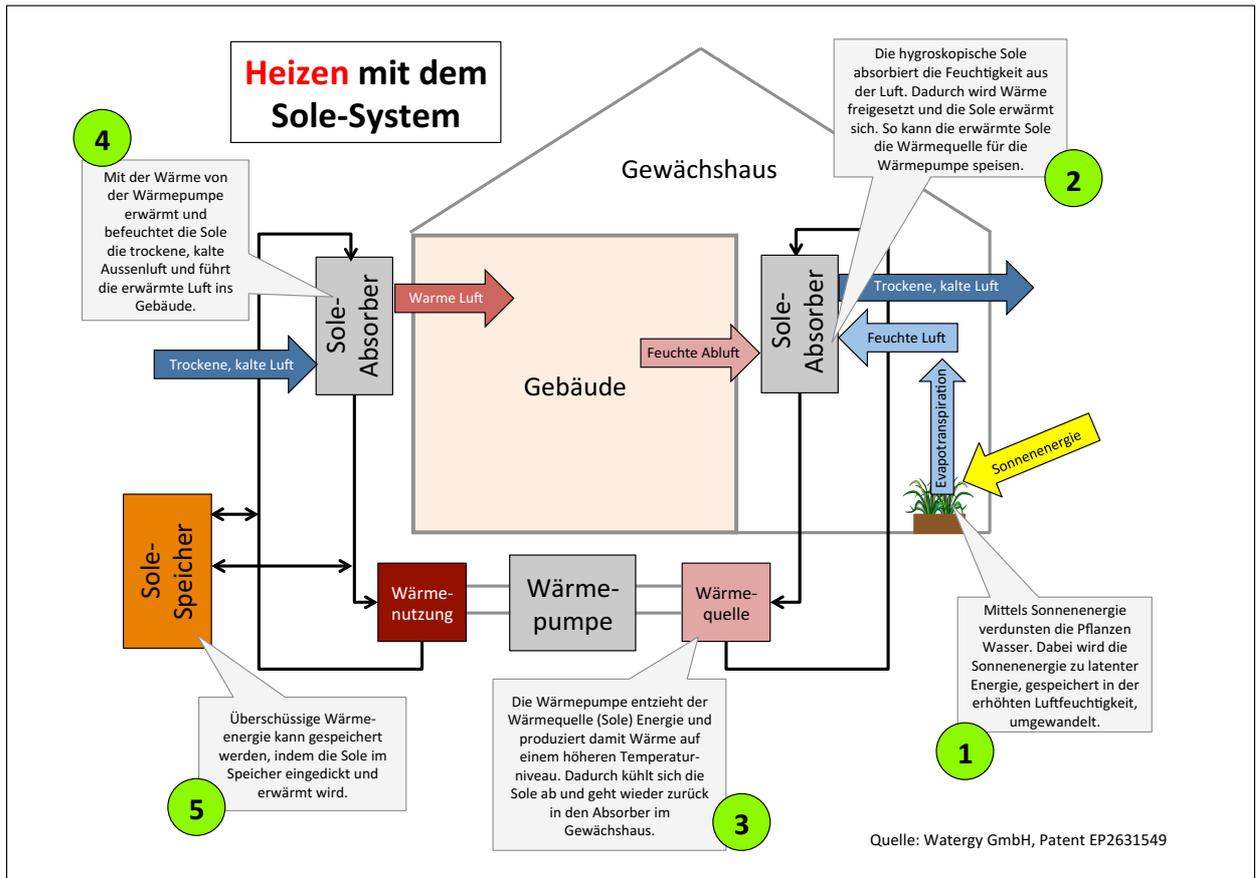


Abbildung 6: Funktionsweise der Absorberbox zum Heizen und Kühlen des Gebäudes [7]

### 3.2. Vertikale Pflanzenkläranlage

Um die Nährstoffe aus Urin und Fäzes effizient zu nutzen, werden in Zukunft immer mehr Häuser mit einer Abwassertrennung ausgestattet. Das Grauwasser (Abwasser aus Küche und Bad) ist wenig belastet und kann mit einer ökologisch sinnvollen Pflanzenkläranlage vor Ort gereinigt werden. Konventionelle horizontale Pflanzenkläranlagen werden seit Jahren vielerorts in dezentralen Abwasserreinigungsanlagen eingesetzt und stellen eine etablierte Technologie dar. Da jedoch eine horizontale Pflanzenkläranlage verhältnismässig viel Platz benötigt, wird sie kaum in urbanen Gebieten eingesetzt. Um dem Platzproblem entgegenzuwirken geht die Entwicklung nun in Richtung vertikal ausgerichteter Pflanzenkläranlagen, die gut an einer Fassade montiert werden können. Die Reinigungsleistung wird mittels Pflanzen und Biofilter (Mikroorganismen im Substrat) erbracht. Das gereinigte Wasser kann anschliessend im Haus wiederverwendet werden. Da die grösste Reinigungsleistung von den Mikroorganismen im Substrat ausgeht, kann das System auch ohne Pflanzen eingesetzt werden. Die Pflanzen dienen vor allem der Stabilisierung des Substrates und als ästhetisches Element. Da die Pflanzen jedoch viel Wasser evapotranspirieren ist ihr Einsatz oft nur sinnvoll, wenn die Evapotranspiration und der einhergehende Wasserverlust entweder gewünscht oder nicht relevant ist.

Eine bestehende vertikale Pflanzenkläranlage steht in Tarragona, Spanien. Die Anlage ist 2500 m<sup>2</sup> gross und wurde an der Fassade eines alten Industriegebäudes installiert. Die Anlage fungiert als tertiäre Reinigungsstufe für das Abwasser des Gebäudes [8]. Die Reinigungsleistung vertikaler Pflanzenkläranlagen liegt je nach System zwischen 46 und 60 Liter pro m<sup>2</sup> und Tag [9,10,11]. Um das Grauwasser eines Einfamilienhauses zu reinigen bräuchte es rund 8 m<sup>2</sup> Fassadenfläche.



Abbildung 7: Vertikale Pflanzenkläranlage in Tarragona, Spanien [8]

### 3.3. Semi-transparente Photovoltaik-Module

Die Produktion von Solarstrom mittels Photovoltaik (PV) ist eine weitverbreitete Technologie. Zunehmend werden PV-Module auch in Fassaden integriert und stellen dadurch einen Schritt in Richtung multi-funktionale Fassaden dar. Um weitere Funktionen in die Fassade einzubinden, könnten semi-transparente PV-Module in die Glashülle an der Fassade (Klimahülle) eingebaut werden. Dies ermöglicht einerseits Solarstrom zu produzieren und andererseits in der Glashülle weitere Funktionen zu integrieren. Ein monokristallines semi-transparentes Solarmodul hat eine Moduleffizienz von ca. 9%. Der Ertrag an der Fassade ist rund 50% geringer als bei einer Dachinstallation mit optimaler Ausrichtung. Der steile Anstellwinkel begünstigt jedoch gute Erträge im Winter und in den Morgen- und Abendstunden aufgrund des flachen Einstrahlungswinkels der Sonne [12]. Um den gesamten jährlichen Elektrizitätsverbrauch eines Einfamilienhauses zu decken, braucht es rund 170 m<sup>2</sup> südliche Fassadenfläche.



Abbildung 8: Vorgelagerte Gebäudefassade mit integrierten semi-transparenten Photovoltaik-Modulen [13]



Abbildung 9: Eingangsbereich mit integrierten semi-transparenten Photovoltaik-Modulen [13]

## 4. Kombination der Technologien

Die drei vorgestellten Systeme weisen gemeinsame Schnittstellen auf und könnten kombiniert werden. Für die Sole-Absorberbox wird eine zusätzliche Gebäudehülle aus Glas (Doppelfassade, Klimahülle) benötigt. Das Glas könnte auch durch semi-transparente PV-Module ersetzt werden, da diese auch aus Glas bestehen. Für die Absorberbox wird zudem eine Evaporationsfläche benötigt. Diese wird in der Regel durch Pflanzen geschaffen. Da die vertikale Pflanzenkläranlage auch aus Pflanzen besteht, können diese eine Doppelfunktion übernehmen: einerseits Wasser durch Evapotranspiration verdunsten und andererseits zur Reinigungsleistung beitragen. Dadurch entstünden nahezu geschlossene Wasser- und Energiekreisläufe, wodurch Einsparungen von Wasser- & Energiekosten möglich wären.

### 4.1. Beispiel Einfamilienhaus

Ein Einfamilienhaus ist eine gute Dimension um das Potential des Technologiekonzeptes aufzuzeigen. Die Klimahülle würde in Form eines Wintergartens realisiert. Darin befinden sich Pflanzen die das Grauwasser vom Haus für die Nutzung in der Absorberbox evaporieren. Da die Bewohner jedoch nur eine begrenzte Menge Grauwasser produzieren, wird am Beispiel Einfamilienhaus ersichtlich, dass das ganze anfallende Grauwasser für die Verdunstung benötigt wird. Daher erübrigt sich eine Grauwasserreinigung mittels vertikaler Pflanzenkläranlage. In Gebäuden, wo überdurchschnittlich viel Grauwasser anfällt, wäre eine Grauwasserreinigung mit vertikaler Pflanzenkläranlage jedoch möglich. Auch ohne Grauwasserreinigung hat das System den Vorteil, dass Abwassergebühren eingespart werden können. Mit der Installation einer Trockentoilette wäre das komplette Haus abwasserfrei. In manchen Fällen könnte das Grauwasser für die Evaporation nicht ausreichen. Hier kann das System mit einer zusätzlichen Regenwassersammlung ergänzt werden.

Für die Installation an einem Einfamilienhaus dienen folgende Eckdaten:

- 1 Absorberbox pro Haus, 1 m<sup>2</sup>
- 13 m<sup>2</sup> bepflanzte Evaporationsfläche, davon können 10 m<sup>2</sup> mit Grauwasser und 3 m<sup>2</sup> mit Regenwasser bewässert werden
- 170m<sup>2</sup> südliche Fassadenfläche für semi-transparente PV-Module

Da die Absorberbox wenig Platz braucht, sollte sich dafür in jedem Haus einen Platz finden. Je nach System bräuchte es noch Platz für einen Speicher (ca. 2-3 m<sup>2</sup> Bodenfläche). Mit guter Architektur kann auch die benötigte Evaporationsfläche in das Haus integriert werden. Die benötigte Fassadenfläche für die PV-Module ist jedoch sehr gross für ein Einfamilienhaus und schwierig zu realisieren. Es empfiehlt sich daher auch das Dach mit Solarmodulen auszustatten und gegebenenfalls mit weiteren Funktionen (z.B. Dachgarten, Regenwassersammlung) zu kombinieren.

## 5. Umsetzung an einer Fallstudie

Die Umsetzung einer multi-funktionalen Fassade kann anhand eines bestehenden Gebäudes illustriert werden. Das Gebäude 181 der ZHAW Winterthur ist bereits mit einer Doppelfassade aus Glas ausgestattet, jedoch sind keine weiteren Funktionen integriert. Das Gebäude 181 wurde im Jahr 2014 umgebaut, um die Räume und Fassade lärm- und wärmetechnisch zu isolieren. So wurde dem bestehenden Gebäude zum Schutz vor dem Bahnlärm eine Glasfassade vorangestellt. Diese dient nicht nur als Lärm-schutz, sondern auch als zusätzliche Wärmeisolation. So kann der Wärmeverbrauch im Winter reduziert werden, da das Gebäude durch die Sonneneinstrahlung zusätzlich geheizt wird. Der Raum in der Glasfassade kann von den Mitarbeitern als Aufenthaltsraum genutzt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es im Winter angenehm warm ist, im Sommer jedoch herrscht eine unbehagliche Hitze. So steigt die Temperatur teilweise über 40°C in der Fassade und den Gängen, was die Wohnbehaglichkeit drastisch einschränkt.

Eine Möglichkeit die Temperaturen im Sommer zu senken und die anfallende Energie zu nutzen wäre mittels zusätzlichen Pflanzen und der Installation von Sole-Absorberboxen den Raum zu kühlen [14]. Die Pflanzenboxen würden mit Grauwasser bewässert und teile der Glasfassade könnten mit semi-transparenten Solarmodulen ausgestattet werden. Die technischen Eckdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.



Abbildung 10: Gebäude 181 der ZHAW Winterthur von Aussen. Die vorgelagerte Glasfassade schützt vor Bahnlärm und dient als zusätzliche Wärmeisolation für das Gebäude. Der Raum in der Glasfassade dient den Mitarbeitern als Aufenthaltsraum.

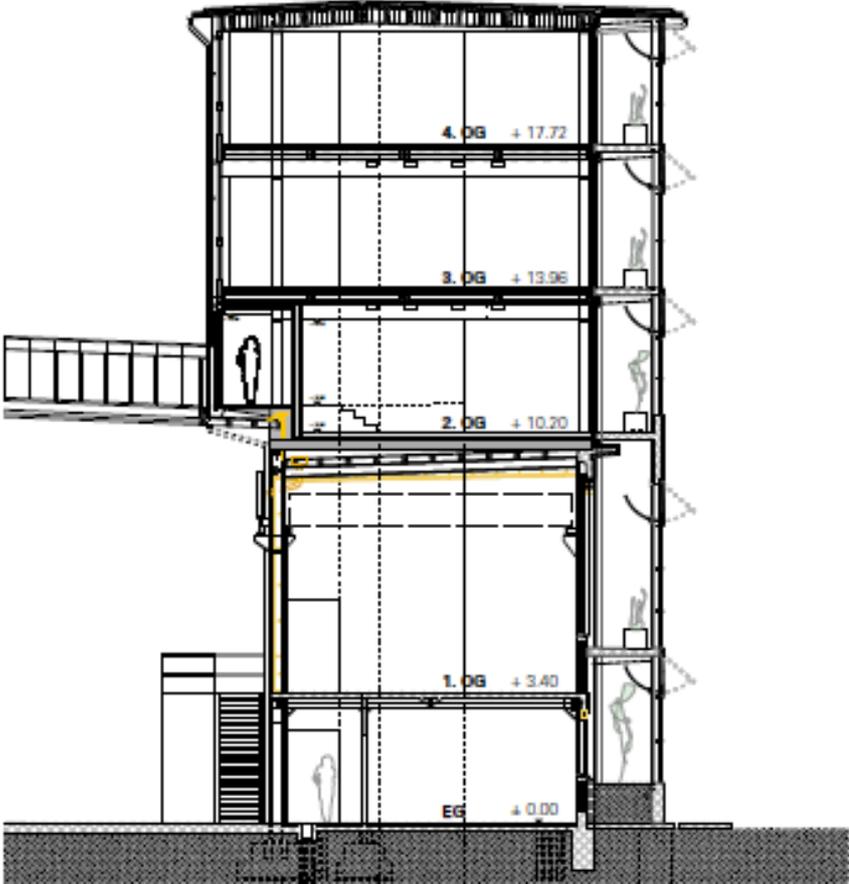


Abbildung 11: Seitenansicht und Schnitt der Doppelfassade am Gebäude 181 der ZHAW Winterthur [14]

Tabelle 1: Technische Eckdaten für die multi-funktionale Fassade am Beispiel von Gebäude 181 der ZHAW Wädenswil [14,4]

<b>Sole-Absorberbox</b>	
Volumen Doppelfassade	3'780 m <sup>3</sup>
Abzuführende Wassermenge	10 – 15 kg/h pro Wäscher
Abzuführende Luftmenge	750 m <sup>3</sup> /h pro Wäscher
Anzahl Absorberboxen	5 Stk. (Stündliche Umwälzung der Luft)
Masse Absorberbox	0.6 m x 0.6 m x 2 m (LxBxH)
Speicher Salzlösung	1.5 m <sup>3</sup>
Anfallende Energie in Salzlösung	150 -200 kWh/t Salzlösung
geeignete Pflanzenarten	<i>Asarina barclaiana</i> , <i>Celosia argentea</i> , Citrus, <i>Hebe-Andersonii</i> -Hybride, <i>Hibbertia scandens</i> , <i>Stapelia x divaricate</i> , <i>Canna indica</i>
Energieeinsparung Kühlen	20 – 30%
Energieeinsparung Heizen (bei einem Heizungsersatz)	Bis zu 20%
<b>Grauwassernutzung</b>	
Anfallende Grauwassermenge	700 l/d (Schätzung)
Wassermenge für Bewässerung	1400 l/d
Regenwasser für Bewässerung	700 l/d
<b>Semi-transparente PV-Module</b>	
Fassadenfläche	2'520 m <sup>2</sup>
Abdeckung mit PV	50% (1260 m <sup>2</sup> )
Leistung Anlage	126 kWp
Stromproduktion	59'900 kWh/a

## 6. Potentialabschätzung

Die Berechnungen zum Einfamilienhaus zeigen, dass die Absorberbox in Kombination mit der Verdunstung von Grauwasser und integrierten PV-Modulen grundsätzlich möglich ist. Ein Einfamilienhaus produziert knapp die Menge an Grauwasser, die für die Verdunstung für die Absorberbox benötigt wird und bietet genügend Fassadenfläche um das Wasser zu verdunsten. Die Klimahülle kann gut in Form eines Wintergartens, der eine komplette Fassadenseite eindeckt, umgesetzt werden. Eine detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse ist aufgrund der vorhandenen Datenlage nicht möglich. Es fehlen Erfahrungswerte für Betrieb, Wartung und zu den effektiven Einsparungen durch Energie und Wasser. Bei einem geschätzten Anschaffungspreis von rund CHF 150'000.- für ein Einfamilienhaus, kann man davon ausgehen, dass sich die Installation vor allem lohnt, wenn neben Energie- und Wassereinsparungen weitere Mehrwerte erzielt werden. Dies können sein:

- Durch das geschlossene Luftsystem in der Klimahülle kann an luftverschmutzten Standorten die Luft im Innenraum sauber gehalten werden.
- Die Klimahülle schützt vor Lärm an lärmbelasteten Standorten wie Flughäfen und Strassen.
- In Gebieten ohne öffentliches Stromnetz ist die dezentrale Produktion von Energie eine günstige und nachhaltige Lösung.
- Die Klimahülle gleicht einer Glasfassade, die jedoch weitere Funktionen beinhaltet. Dies kann als ästhetisches Element verwendet werden.

Ob es möglich und sinnvoll ist, eine vorgelagerte Glasfassade anzubauen hängt von diversen Rahmenbedingungen ab. Eine entscheidende Rahmenbedingung sind die örtlichen Bauvorschriften, insbesondere Gebäudeabstände und Gestaltungsvorschriften. Bei bestehenden Gebäuden könnte die vorgelagerte Fassade den geltenden Grenzabstand überschreiten. In diesem Fall müsste ein Näherbaurecht eingeholt werden. Je nach Gestaltungsvorschriften der Zonenordnung ist es nicht überall erlaubt Glasfassaden zu bauen. Eine Ausnahmegewilligung wäre zu prüfen.

Aufgrund der geringen Datenlage ist es schwierig das effektive Potential von multifunktionalen Fassaden zu berechnen. Bis zur Marktreife bedarf es einiges an angewandter Forschung, um das Technologiekonzept zu erproben und weiter zu entwickeln.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Stadt der Zukunft: Vielfältige Nutzungen von Dächern und Fassaden .....	5
Abbildung 2: Visualisierung der Klimahülle am «Townhouse» [1].....	7
Abbildung 3: Futuristische Visualisierung einer Klimahülle [3].....	8
Abbildung 4: Container mit Klimahülle in Berlin .....	8
Abbildung 5: Prototyp in Berlin Dahlem (links) und Absorberbox von Watergy (rechts) [4] .....	9
Abbildung 6: Funktionsweise der Absorberbox zum Heizen und Kühlen des Gebäudes [5] .....	10
Abbildung 7: Vertikale Pflanzenkläranlage in Tarragona, Spanien [6] .....	11
Abbildung 8: Vorgelagerte Gebäudefassade mit integrierten semi-transparenten Photovoltaik- Modulen [11] .....	12
Abbildung 9: Eingangsbereich mit integrierten semi-transparenten Photovoltaik-Modulen [11] .....	12
Abbildung 10: Gebäude 181 der ZHAW Winterthur von Aussen. Die vorgelagerte Glasfassade schützt vor Bahnlärm und dient als zusätzliche Wärmeisolation für das Gebäude. Der Raum in der Glasfassade dient den Mitarbeitern als Aufenthaltsraum.....	14
Abbildung 11: Seitenansicht und Schnitt der Doppelfassade am Gebäude 181 der ZHAW Winterthur [12] .....	15

## Quellenverzeichnis

- 1 Karasu A. Adra Karasu - Design und Wissenschaft, Townhouse. [Internet]. [cited 2018 Jul 20]. Available from: <http://ardakarasu.com/blog/townhouse/>.
- 2 Strohm D. Dach und Fassade besser nutzen. NZZ am Sonntag - Invest Immobilien. 2018:39.
- 3 Solarpreis 2012. [Internet]. 2012 [cited 2018 Jul 20]. Available from: <http://www.gemperle.ch/uploads/pdfs/Anhang%202.pdf>.
- 4 Bergmann T, Danesi S. Daten Absorberbox. Winterthur: ZHAW - IEFIE Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering; 2018.
- 5 Studio Berlin Architekten & Watergy. Visualisierung Klimahülle.
- 6 Watergy GmbH. Gebäudeprototypen in Berlin mit Gewächshaus als Feuchtluft-Solarkollektor. [Internet]. [cited 2018 Jul 20]. Available from: <http://watergy.de/gebaeudeheizung/>.
- 7 Bühler D, Buchholz M. Funktionsweise der Absorberbox zum Heizen und Kühlen. Visualisierung. 2017.
- 8 Vivers ter. Green living façade in Tarragona (Spain). [Internet]. [cited 2017 Dec 1]. Available from: [http://v-ter.com/en/index.php?option=com\\_content&view=article&id=117:pared-vegetal-tarragona&catid=44&Itemid=226](http://v-ter.com/en/index.php?option=com_content&view=article&id=117:pared-vegetal-tarragona&catid=44&Itemid=226).
- 9 Zapater-Pereyra M, Ilyas H, Lavrnić S, van Bruggen JJA, Lens PNL. Evaluation of the performance and space requirement by three different hybrid constructed wetlands in a stack arrangement. 2015;82:290-300.
- 10 Rousseau D, Bäumer R. Using vertical gardens for grey water treatment. Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands. 8. Workshop. Trebon 2013.
- 11 Sakkas P. Domestic Greywater treatment through the integration of constructed wetlands in Living Wall Systems ( LWS ). Master Thesis. Technical University of Delft ; 2012.
- 12 Braun D, Langenskiöld. Photovoltaik erobert Fassade. Deutsche Bauzeitschrift - Energie Spezial / Technik. 2017:84-86.
- 13 Linevents Future Development Inc. Solar Building Tech. [Internet]. [cited 2018 Jun 10]. Available from: [http://www.solarbuildingtech.com/Large\\_Coml\\_Mfg\\_Building\\_Solar\\_PV/Office\\_Commercial\\_Building\\_Solar\\_Curtain\\_Wall\\_bipv\\_façade.htm](http://www.solarbuildingtech.com/Large_Coml_Mfg_Building_Solar_PV/Office_Commercial_Building_Solar_Curtain_Wall_bipv_façade.htm).
- 14 Gisler L, Moser P. Klimahülle als Solarkollektor. Bachelorarbeit. Winterthur: ZHAW - Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering; 2016.