

Leitfaden RessourcenPlan



Teil 3: Anwendungs- und Planungshilfen

3.3: Maßnahmen des Quartiersmanagements: Maßnahmensteckbriefe

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA

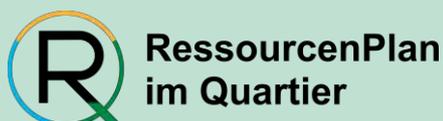
Forschung für Nachhaltigkeit

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

RESOZ

Ressourceneffiziente
Stadtquartiere

Ergebnisse des Projekts



RessourcenPlan
im Quartier

Februar 2023

 **Stadt Herne**
Mit Grün. Mit Wasser. Mitanständig.

 **FH MÜNSTER**
University of Applied Sciences

 **IWARU** Institut für
Infrastruktur · Wasser ·
Ressourcen · Umwelt

städtebau | **RWTH AACHEN**
UNIVERSITY

 **TU**
berlin **SUSTAINABLE**
ENGINEERING 

Jung Stadtkonzepte

KWB
Kompetenzzentrum
Wasser Berlin

 **GELSENWASSER**

 **UWB**

 **ExKern**

Impressum

Autoren und beteiligte Institutionen

Autoren	Institution
Birgitta Hörnschemeyer Mareike Lewe Flemming Albers Jonas Kleckers Celestin J. Stretz Christian Klemm Janik Budde	FH Münster, IWARU, Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt und IEP, Institut für Energie und Prozesstechnik
Rosalie Arendt	Technische Universität Berlin, Sustainable Engineering

Herausgeber

FH Münster
IWARU Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt
Corrensstraße 25
48149 Münster

Ansprechpartner

Birgitta Hörnschemeyer
FH Münster
IWARU Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt
Mail: b.hoernschemeyer@fh-muenster.de

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes R2Q „RessourcenPlan im Quartier“ durchgeführt. Das Projekt wurde unter den Förderkennzeichen 033W102A-K durch das BMBF im Rahmen der Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung RES:Z „Ressourceneffiziente Stadtquartiere“ gefördert (<https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/>). Die Fördermaßnahme ist Teil der Leitinitiative Zukunftsstadt innerhalb des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONA³⁴“.

Verfügbarkeit und Verwendung

Dieses Dokument ist Teil der Publikationsreihe „Leitfaden RessourcenPlan“. Sie ist online verfügbar unter www.fh-muenster.de/r2q-leitfaden-ressourcenplan.

Bitte zitieren als:

Hörnschemeyer, B., Kleckers, J., Stretz, C.J., Klemm, C., Budde, J., Arendt, R., Lewe, M., Albers, F. (2023): *Leitfaden RessourcenPlan – Teil 3.3: Maßnahmen des Quartiersmanagements: Maßnahmensteckbriefe. Ergebnisse des Projekts R2Q RessourcenPlan im Quartier*. Münster: FH Münster, IWARU Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt. doi: [10.25974/fhms-15760](https://doi.org/10.25974/fhms-15760).



Dieses Dokument ist unter einer Open Access Creative Commons CC BY 4.0-Lizenz lizenziert ([Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)). Das bedeutet, dass das Dokument kostenlos heruntergeladen und gelesen werden kann. Darüber hinaus darf das Dokument wiederverwendet und zitiert werden, sofern die veröffentlichte Originalversion zitiert wird.

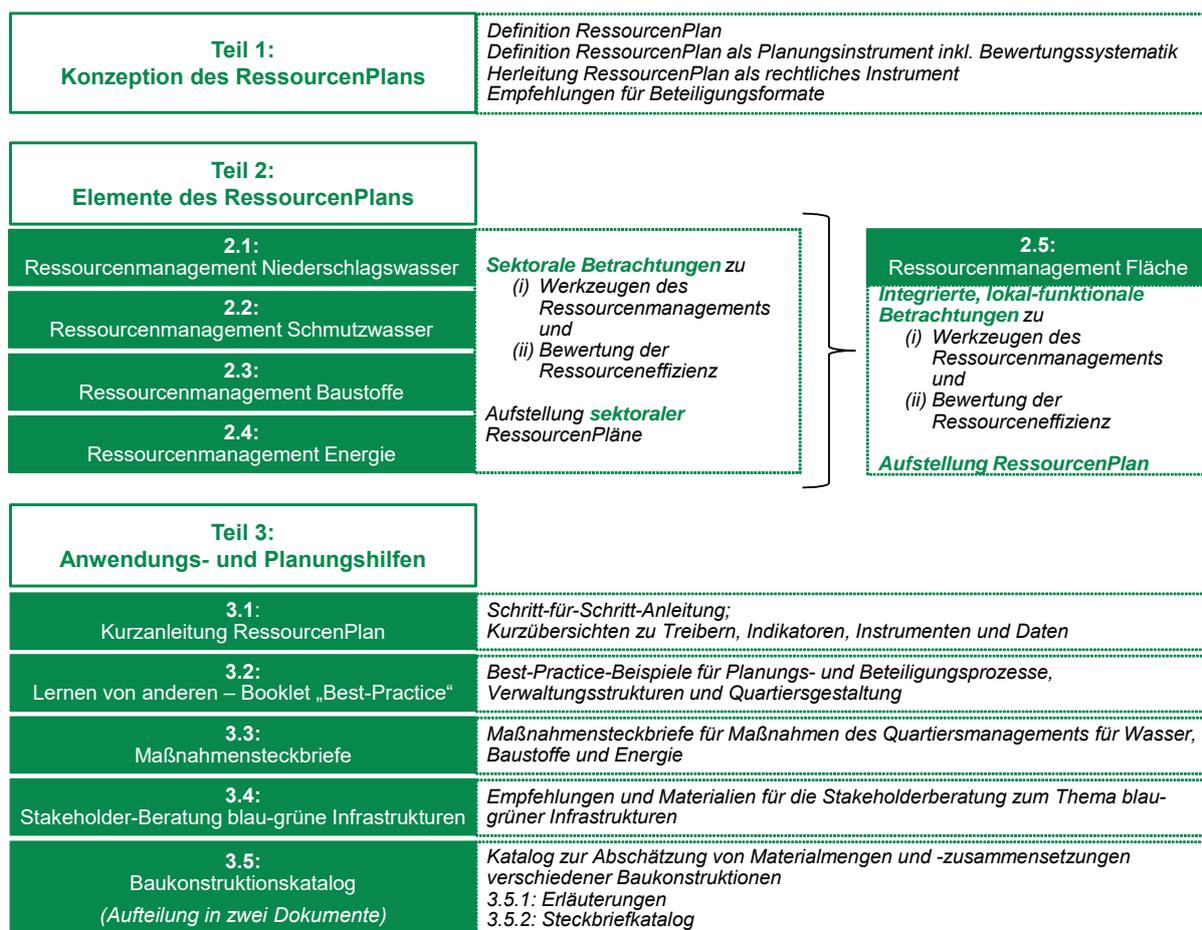
Münster, Februar 2023

Hinweis: Struktur des „Leitfaden RessourcenPlan“

Der „Leitfaden RessourcenPlan“ dient der anwendergerechten Darstellung der Ergebnisse des BMBF-Projekts „RessourcenPlan im Quartier (R2Q)“. Der Leitfaden

- *definiert den RessourcenPlan* als neuen Planungsansatz für das Ressourcenmanagement im Quartier inklusive seiner Anwendungs- und Bewertungsroutinen;
- diskutiert darauf aufbauend einzelne *Elemente des Ressourcenmanagements* für die Schwerpunkte (i) Wasser, (ii) Baustoffe, (iii) Energie und (iv) Fläche und
- stellt ergänzende *Anwendungs- und Planungshilfen* bereit.

Zur übersichtlichen Lesbarkeit und Anwendbarkeit untergliedert sich der Leitfaden in mehrere Teile, die in der folgenden Grafik dargestellt werden. Die einzelnen Teile stehen unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-leitfaden-ressourcenplan> zum Download zur Verfügung.



I. Einführung

Zur Etablierung eines integrierten Ressourcenmanagements im Quartier wurden im Projekt R2Q ein Maßnahmenkatalog für Maßnahmen und Technologien zum Management von Wasser, Baustoffen und Energie entwickelt. Der Maßnahmenkatalog dient zur Informationsfindung bei der Maßnahmenwahl und stellt für die Technologien und Verfahren relevante Informationen zu Planung, Bau und Betrieb zusammen. Des Weiteren werden Informationen zu Synergien und Zielkonflikten mit anderen Maßnahmen sowie zu ökobilanziellen Aspekten gegeben.

Neben der hier vorliegenden Publikation im PDF-Format können die Maßnahmensteckbriefe auf einer interaktiven Online-Plattform eingesehen werden.

Sie ist unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Der Maßnahmenkatalog beinhaltet die folgenden Steckbriefe:

Niederschlagswasser	1	Fassadenbegrünung
	2	Stadtgrün
	3	Gründach
	4	Dachgarten
	5	Blue roof
	6	Bewässerung
	7	Regenwassernutzung
	8	kombinierte Regen- und Grauwassernutzung
	9	Entsiegelung
	10	Flächen- & Muldenversickerung
	11	Schachtversickerung
	12	Rigolen- und Rohrrigolenversickerung
	13	Mulden-Rigolen-Element/-System
	14	Regengarten
	15	Baumrigole
	16	Multifunktionale Rückhalteräume

Abschnitt I: Einführung

Schmutzwasser	1	Grauwasseraufbereitung
	2	Grauwasserbehandlung mittels Pflanzenkläranlage
	3	Urinbehandlung und -verwertung
	4	Anaerobe Schwarzwasserbehandlung
	5	Unterdruckentwässerung
	6	Doppel-Inliner-Verfahren
	7	Semizentrale Abwasserwärmenutzung
	8	Dezentrale Abwasserwärmenutzung
	9	MAP-Fällung
	10	Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche
Baustoffe	1	Aufdoppelung WDVS
	2	Gipsrecycling
	3	Baustoffbörse
	4	Recyclingbeton
	5	Ausschreibungen
	6	Gebäudepass-Altbau
	7	Gebäudepass-Neubau
Energie	1	Geothermieranlagen
	2	Solarthermieranlagen
	3	Wärmepumpen
	4	Biomasseheizwerke
	5	Blockheizkraftwerke
	6	Photovoltaikanlagen
	7	Kleinwindkraftanlagen
	8	Kleinstwasserkraftanlagen
	9	Smart Grids
	10	Mieterstrommodelle
	11	Lokale Energiemärkte
	12	Wärmenetze
	13	Anergienetze
14	Energetische Gebäudesanierung	
15	Demand Response	
16	Wärmespeicher	
17	Power-to-Gas	
18	Power-to-Heat	
19	Power-to-Mobility	
20	Batteriespeicher	

II. Niederschlagswasser

Fassadenbegrünung

KURZINFORMATION

Die Fassadenbegrünung ist eine dezentrale Maßnahme zur Erhöhung der Verdunstung und Verbesserung des Stadtklimas. Die Begrünung der Hausfassade erfolgt mit erdgebundenen Kletterpflanzen oder wand- bzw. systemgebundenen Techniken (Gabionen, horizontale Kübel, Wandmodule, flächiges Geovlies). Die Pflanzen werden mit Regenwasser bewässert.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Erdgebundene (li.) und systemgebundene (re.) Fassadenbegrünung (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

Niederschlagswasser Schmutzwasser Baustoffe Energie Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe

- | | |
|-------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |
| <input type="checkbox"/> Verwertung | <input type="checkbox"/> Beseitigung |
| <input type="checkbox"/> Recycling | |

Energie

- Energiebereitstellung
- Energieverbrauch
- Elektrizität
- Brennstoffe
- Energieverteilung
- Energiespeicherung
- Wärme

Fläche

- Klimaanpassung
- Erhalt d. Grunddaseinsfunktion
- Klimaschutz
- Gesundheitsschutz
- Naturschutz

Legende:

kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW	Min:	15	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	15	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:
Grundfläche gering

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Der Bewuchs geeigneter oder speziell vorgerichteter Fassaden und Wände mit Pflanzen wird als Fassadenbegrünung bezeichnet. Es wird zwischen **erdgebundenem Bewuchs** (Kletterpflanzen wie Wilder Wein, Efeu, Kletterhortensie werden in die Erde gepflanzt, ggf. mit Wuchserüst) und **systemgebundenem Bewuchs** in modularer Bauweise, d.h. in Pflanzsystemen direkt an der Wand oder vor einer Glasfassade wachsend unterschieden. Dabei kommen sowohl aufgehängte Kübel und Kassetten als auch eine direkte Bepflanzung der Fassade in Frage.

Die erdgebundene Fassadenbegrünung wird in der Regel direkt aus der bepflanzten Mulde heraus bewässert, d.h. das Regenwasser von versiegelten Flächen kann direkt am und im Wurzelraum versickert werden. Die systemgebundene Fassadenbegrünung benötigt Bewässerungssysteme (inkl. Düngung). Die Bewässerung sollte, insbesondere bei größeren Pflanzungen und bei Kübelpflanzung, automatisch erfolgen.

Um die Traglasten möglichst gering zu halten, werden bei der wand- bzw. systemgebundenen Fassadenbegrünung Substrate gewählt, die eine möglichst hohe Wasserspeicherkapazität bei möglichst geringem Gewicht aufweisen. Die Bewässerung und die Versorgung mit Nährstoffen erfolgt in der Regel über eine Tröpfchenbewässerung mit einer proportionalen Düngebeimischung. Bei der Verwendung von Zisternenwasser ist zu beachten, dass keine Flächen mit möglicher Herbizidwaschung angeschlossen sind, was zu einem Absterben der Vegetation führen kann. Der Nährstoffgehalt des Gießwassers sollte möglichst gering gehalten werden, um ein Auswaschen der Nährstoffe aus dem Substrat zu vermeiden.

Systemskizze

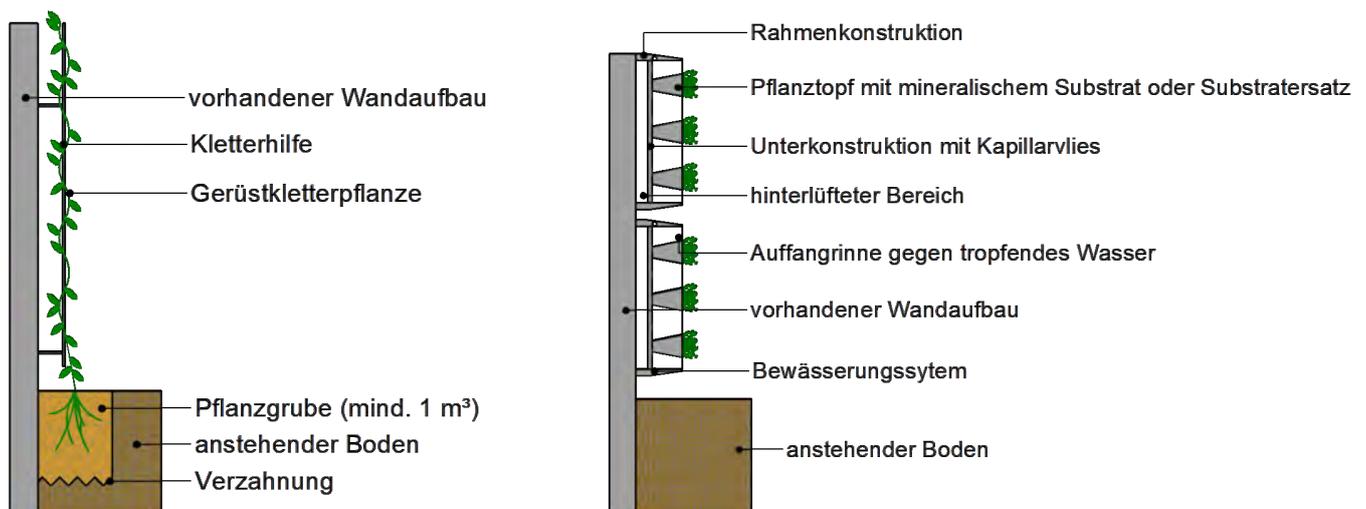


Abb. 2: Erdgebundene (li.) und systemgebundene (re.) Fassadenbegrünung (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Für alle Fassadenbegrünungen sind primär die Ansprüche der Pflanzen an Licht, Boden und Klima zu berücksichtigen. Die Sicherstellung geeigneter Bedingungen muss ganzjährig gewährleistet werden. Dies wird nur durch eine fachgerechte objektbezogene Pflanzenauswahl und angemessene funktionssichere Begrünungstechnik erreicht. Bei der Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen müssen darüber hinaus deren Klettertechnik und artspezifische Eigenschaften zugunsten eines guten und dauerhaften Begrünungsergebnisses berücksichtigt werden. Es wird empfohlen, die Bewässerung mit einer kontinuierlichen Überwachung des Wasserverbrauchs zu kombinieren.

Norm/Regelwerk

Titel

FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinie n 2018

FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen

TL-Baumschulpflanzen 2020

TL-Baumschulpflanzen Technische Lieferbedingungen für Baumschulpflanzen (Gütebestimmungen)

FLL-Gütebestimmungen Stauden 2015	FLL-Gütebestimmungen für Stauden (staudenartige Kletterpflanzen)
FLL-Baumpflanzungen 2010	FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen, Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate
FLL-Übergangsbereiche 2012	FLL-Richtlinie Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung der Übergangsbereiche von Freiflächen zu Gebäuden
DIN 18915	Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten
DIN 18916	Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Pflanzen und Pflanzarbeiten

Aufwand und Kosten

Die Pflegemaßnahmen der **erdgebundenen Fassadenbegrünungen** sind relativ gering. Sie beinhalten einen ein- bis zweimal jährlich durchzuführenden Rückschnitt, ggf. Einflechten in Kletterhilfen, Freihalten von bestimmten Gebäudeteilen, Entfernen von abgestorbenen Pflanzenteilen sowie ggf. Düngen und Schädlingsbekämpfung. Eine Wuchshilfe muss auf Schäden (Korrosion, Brüche/ Risse, Überlastung) überprüft werden.

Bei **systemgebundener Begrünung** sind fünf- bis zehnmal jährlich Pflegemaßnahmen wie Rückschnitt, Freihalten bestimmter Gebäudeteile, Ersetzen von ausgefallenen Pflanzen, Wartung der Wasser- und Nährstoffversorgungsanlage, Frostsicherung der Bewässerungsanlage vor dem Winter sowie Düngung und ggf. eine Schädlingsbekämpfung durchzuführen. Eine etwa tägliche Bewässerung über die gesamte Vegetationszeit (März bis November) ist erforderlich. Außerhalb der Vegetationsperiode ist die Bewässerung außer Betrieb zu nehmen, um Wurzelfäule und Frostsprengung (bei Kübeln) zu vermeiden. Die Möglichkeit einer winterlichen Notbewässerung insbesondere für Südfassaden ist einzuplanen.

Um den Befall durch tierische und pilzliche Schadorganismen zu erfassen und fachlich korrekte Bekämpfungsmaßnahmen durchführen zu können, sind zwei bis drei Begehungen im Jahr von im Pflanzenschutz fachkundigen Personen erforderlich. Schnittmaßnahmen zur Unterhaltungspflege sind nach Zeitpunkt, Häufigkeit und Ausführung dem jeweiligen Begrünungsziel und den Pflanzenarten anzupassen.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ²	€/m ²		€/(m ² *a)	€/(m ² *a)
min	0,44 * ¹	252 * ²	min	10 * ¹	10 * ²
max	106 * ¹	2500 * ²	max	20 * ¹	120 * ²
üblich	38 * ¹	1096 * ²	üblich	15 * ¹	39 * ²

Hinweis:

Kosten sind abhängig von Pflanzenart, Bauteilhöhe sowie hinsichtlich der Wartung auch von der Erreichbarkeit der begrünten Fläche

*¹ erdgebunden*² systemgebunden

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Aufbau	<p>Bodengebunden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Pflanzgrube sollte ein Volumen von mindestens 1 m³ haben • Direktbewuchs der Fassade oder leitbarer Bewuchs an einer Vorkonstruktion <p>Systemgebunden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einzel-/ Linearbehälter mit mind. 0,25 m³ Volumen, in Rinnensystemen auch weniger • Modulare/ flächige Konstruktion: 8-25 cm oder substratlos
Lasteinflüsse	<p>Bodengebunden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ca. 1-42 kg/m² je nach Pflanzenart, zzgl. Schnee-, Eis-, Windlasten und ggf. Ranghilfen und Fruchtlast <p>Systemgebunden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einzel-/ Linearbehälter: 450-550 kg/lfd m • Modulare/ flächige Konstruktion: 30-220kg/m² • Zusätzlich: Lasten durch Unterkonstruktion, Schnee, Eis, Wind
Bewässerungsbedarf	0,5-0,8 L/(m ² ,d) begrünter Fassadenfläche, je nach Exposition und Pflanzenart
Anforderungen	Vorgereinigtes Regenwasser, pH-Wert < 7; regelmäßige Wartung und Pflege der Bewässerungstechnik und der Vegetation
Vegetation	<p>Bodengebunden: Kletterpflanzen (Selbstklimmer und Gerüstkletterpflanzen)</p> <p>Systemgebunden: Stauden, Kleingehölze, Sträucher, Kletterpflanzen</p>

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Schmutzwasser	Nutzung zur Grauwasseraufbereitung	
Baustoffe	Schutzfunktion für Bauteile	Beim Entfernen bleiben Rückstände am Bauteil
Energie	Wärmedämmende Wirkung	

Fläche

- Förderung der Nutzungsdichte
- Fassade übernimmt zusätzliche Funktionen zur Optimierung des Mikroklimas und zum Wasserrückhalt
- Förderung der Biodiversität
- Förderung der Erlebbarkeit und Lebensqualität durch Schaffung grüner Elemente

Ökobilanzielle Bewertung

Fassadenbegrünung stellt eine zusätzliche Dämmung dar und reduziert den Heiz- und Kühlbedarf von Gebäuden. Vor allem bei indirekter Fassadenbegrünung sollte darauf geachtet werden, dass die Konstruktionen aus umweltschonenden Materialien gefertigt sind und z.B. nicht aus Edelstahl, welches eine hohe Umweltauswirkung aufweist (Ottel  et al., 2013).

Literaturstellen

Ottel , M., Perini, K., Haas, E.M., 2013. Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems, in: Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco- Labelling and Case Studies. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.3.457>

Kombinationsmöglichkeiten

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Hohe Flexibilität	Systemgebunden: spezielle Bewässerung nötig, hohe Investitions- und Betriebskosten
bodengebunden: weitgehend selbständige Pflanzerversorgung mit Wasser und Nährstoffen, geringer Investitions- und Erhaltungsaufwand	Systemgebunden: Primärkonstruktion muss auf das Gesamtgewicht abgestimmt sein
Hohe optische Wirkung, Wertsteigerung der Immobilie und des Wohngebietes, Gestaltungspotenzial, Imagewerbung	Zusätzlicher Pflegeaufwand
Erhöhung der Freiraumqualität und Biodiversität am Standort	Erschwerte Entfernung der Rückstände (Bohrlöcher/ Pflanzenreste bei Selbstklimmer)
Verbesserung des Mikroklimas (Beschattung, Verdunstung, Bindung und Filterung von Staub und Luftschadstoffen)	
Wasserrückhalt	
Steigerung der Energieeffizienz (Reduzierung Wärmeverluste und Kühlungsbedarf)	
Gebäudeerhaltung/ Bauteilschutz (Schutz vor äußeren Einflüssen wie Schlagregen, Hagel, UV-Strahlung, Schadstoffe, Schmutz, starke Temperaturschwankungen)	
Schaffung von Lebensraum als Beitrag zum Artenschutz	
Lärmschutz	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Caixa Forum	Madrid	Spanien	<ul style="list-style-type: none"> • erdgebundene Fassadenbegrünung • 15.000 Pflanzen 250 verschiedener Arten auf über sechs Stockwerken • touristischer Magnet, welcher das Kleinklima und die Luftqualität verbessert

ufaFabrik	Berlin	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • erdgebundene Fassadenbegrünung • ehemaliges Gelände eines Kopierwerkes, Fläche: 18.500 m² • vorzeigbare grüne Oase in Berlin • seit 1979: Umsetzung innovativer und ökologischer Pilotprojekte • Förderung der Lebensqualität
Institut für Physik, Humboldt Universität Berlin	Berlin	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • systemgebundene Fassadenbegrünung • Anpflanzung von 20 Arten verschiedener Kletterpflanzen in 150 Trögen • Fassadenfläche: 2.400 m² • außergewöhnliches Projekt des ökologischen Städtebaus

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Stadtgrün

KURZINFORMATION

Stadtgrün beinhaltet jegliche Formen grüner Freiräume und begrünter Gebäude im urbanen Raum. Hierzu gehören städtische Einzelflächen, wie Parkanlagen, Spiel- und Sportplätze, Straßengrün, Straßenbäume und Siedlungsgrün. Auch private Flächen, wie Gärten oder landwirtschaftlich genutzte Flächen bilden einen Teil des städtischen Grüns. Weiterhin werden auch jegliche Formen der Bauwerksbegrünung mit Fassaden- und Dachbegrünung sowie urbanes Gärtnern betrachtet.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Grün in der Stadt (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung

- Energieverbrauch
- Elektrizität
- Brennstoffe
- Energiespeicherung
- Wärme

- Fläche**
- Klimaanpassung
 - Erhalt d. Grunddaseinsfunktion
 - Klimaschutz
 - Gesundheitsschutz
 - Naturschutz

Legende:

- kein Wirkpotential
- mittleres Wirkpotential
- Wirkpotential vorhanden
- hohes Wirkpotential
- geringes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
- Grundstück
- Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | | |
|------------|---------|------|---|
| k.A. m²/EW | Min: | k.A. | <input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: | k.A. | <input type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: | k.A. | <input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Die Realisierung urbaner Vegetation umfasst zum einen die Etablierung im Verkehrsraum durch Stadtbäume sowie Straßenbegleitgrün in Form von Hecken, Rasenflächen und Sträuchern. Zum anderen werden zur Realisierung grüner Freiräume Gärten, begrünte Höfe, Parkanlagen sowie das Urban gardening geschaffen.

Das urbane Grün kann in Pflanzbehälter gepflanzt, durch Randkonstruktionen (Beete) begrenzt oder direkt im anstehenden Boden verortet werden.

Vegetation fördert ein gutes Stadtklima. Die Verdunstung der Pflanzen trägt zur Abkühlung bei. Darüber hinaus können insbesondere Stadtbäume Schatten spenden. Eine flächendeckende Verortung des städtischen Grüns kann die Biodiversität fördern. Außerdem wird die Lebensqualität erhöht, da begrünte Flächen zum Aufenthalt einladen.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Zur nachhaltigen Etablierung von Stadtgrün ist auf eine lage- und klimagerechte Bepflanzung zu achten. Bei der Auswahl der Pflanzen sollte die Beschattung sowie die Verfügbarkeit von (Grund-

)wasser beachtet werden. In Hinblick auf den fortschreitenden Klimawandel ist die Auswahl klimaresilienter Arten zu bevorzugen. Verdunstungsfördernde Bodensubstrate mit erhöhter Wasserspeicherkapazität können die Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen weitergehend sichern und die stadtklimatische Wirkung der Pflanzen zusätzlich stärken. In den Sommermonaten kann eine regelmäßige Bewässerung nötig sein. Dazu können dezentrale Speicher und automatisierte Bewässerungssysteme eingesetzt werden (vgl. Steckbriefe „Regenwassernutzung“ und „Bewässerung“).

Norm/Regelwerk	Titel
TL-Baumschulpflanzen 2020	TL-Baumschulpflanzen Technische Lieferbedingungen für Baumschulpflanzen (Gütebestimmungen)
FLL-Gütebestimmungen Stauden 2015	FLL-Gütebestimmungen für Stauden (staudenartige Kletterpflanzen)
FLL-Baumpflanzungen 2010	FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen - Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen, Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate
FLL-Übergangsbereiche 2012	FLL-Richtlinie Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung der Übergangsbereiche von Freiflächen zu Gebäuden
DIN 18915	Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten
DIN 18916	Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Pflanzen und Pflanzarbeiten
FLL (2008, 2014)	Dachbegrünungsrichtlinien
FLL - Nachhaltige Freianlagen 2018	FLL-Leitfaden Nachhaltige Freiräume
Grünbuch Stadtgrün, BMUB 2015	Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft

Aufwand und Kosten

Stadtgrün muss artgerecht gepflegt werden. Zur Pflege zählen Düngen, saisonales Rückschneiden, Bewässerung im Sommer sowie ggf. Frostschutz im Winter. Der Aufwand unterscheidet sich dabei stark in Abhängigkeit der Saison und der Pflanzenart. Vegetation in Verkehrsflächen darf die Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigen.

Investitionskosten

Betriebskosten

min	k.A.	min	k.A.
max	k.A.	max	k.A.
üblich	k.A.	üblich	k.A.

Hinweis:

Aufgrund der großen Zahl an Möglichkeiten zur städtischen Begrünung ist eine Angabe von Kosten nicht zielführend.

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung urbaner Vegetation fördert die Verdunstung. • Eine Entsiegelung kann städtisches Grün fördern. • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität.
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbereitetes Grauwasser kann zur Bewässerung genutzt werden
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • Multifunktionale Nutzungen von z.B. städtischen Parkflächen möglich • Beitrag für Klimaanpassung • Förderung der Biodiversität • Förderung der Erlebbarkeit und Lebensqualität durch Schaffung grüner Elemente <ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Flächenkonkurrenz möglich

Ökobilanzielle Bewertung

Zur Betrachtung von Stadtgrün liegt eine Ökobilanz von Strohbach et al. (2012) vor. Das Ergebnis zeigt, dass vor allem Stadtbäume eine recht hohe Umweltauswirkung haben, die größtenteils durch den Transport und das Graben von Löchern entsteht. Die Emissionen der Instandhaltung sind abhängig von dem Wachstum der Bäume und der Sterblichkeit. Sowohl eine hohe Wachstumsrate als auch eine hohe Sterblichkeit erhöhen die Emissionen, da mehr Biomasse entfernt werden muss. Die dazu genutzten Geräte werden mit fossilen Energien betrieben.

Literaturstellen

Strohbach, M.W., Arnold, E., Haase, D., 2012. The carbon footprint of urban green space-A life cycle approach. Landsc. Urban Plan. 104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.013>

Kombinationsmöglichkeiten

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Mulden- und Flächenversickerung](#)
[Schachtversickerung](#)
[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)
[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)
[Regengarten](#)
[Baumrigole](#)
[Multifunktionale Rückhalteräume](#)
[Grauwasseraufbereitung](#)
[Photovoltaikanlagen](#)
[Kleinwindkraftanlagen](#)
[Kleinstwasserkraftanlagen](#)
[Smart Grids](#)
[Kleinstwasserkraftanlagen](#)
[Smart Grids](#)
[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Hohe Flexibilität	Pflegeaufwand
Hohe optische Wirkung, Verschönerung von Straßen, Wohnvierteln, Immobilien	Klärung der Zuständigkeiten und Eigentumsverhältnisse (gemeinschaftliches/ privates/ kommunales Eigentum)
Steigerung des Immobilienwertes in der Nähe von Grün	
Erhöhung der Freiraum- und Lebensqualität	
Verbesserung des Mikroklimas (Beschattung, Windschatten, Verdunstung, Bindung und Filterung von Staub und Schadstoffen)	
Wasserrückhalt	
Steigerung der Energieeffizienz (Reduzierung Wärmeverluste und Kühlungsbedarf)	
Schaffung von Lebensraum als Beitrag zum Artenschutz	
urban gardening: Stärkung des Bewusstseins für Nachhaltigkeit, gesunder Ernährung, Naturverbundenheit, Verschönerung des Ortsbildes,	

Vernetzung und Förderung der regionalen Wirtschaft, Stärkung des Zusammenhaltes in Städten und Gemeinden, Förderung der Kommunikation

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Bo01 Western Harbour	Malmö	Schweden	<ul style="list-style-type: none"> • Umgestaltung eines ehemaligen Industriegebietes und Hafens (1998 bis 2001) • Fläche: 30 ha • Urbane Vegetation, wie z.B. Stadtbäume, haben bei der Gestaltung einen hohen Stellenwert
Hafen Offenbach	Offenbach	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Umgestaltung des ehemaligen Industriebahnhofs in Offenbach • Fläche: 25 ha • Ziel: möglichst vielfältige und öffentlich zugängliche Freiräume anbieten • Realisierung des Oberen Molenparks als wohnungsnaher Grünfläche • Noch nicht gestaltete Flächen wurden als urbane Gärten von der Bevölkerung zwischengenutzt
Hans Tavsens Park	Kopenhagen	Dänemark	<ul style="list-style-type: none"> • Gestaltung einer Parkanlage im Zuge eines Stadtgestaltungs- und Klimaanpassungsprojektes (2016) • Fläche: 8,5 ha • Sammlung und lokale Nutzung von Regenwasser, Ableitung von überschüssigem Niederschlagswasser zum nahegelegenen See

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Gründach

KURZINFORMATION

Bei der Begrünung der Dachflächen wird unterschieden in extensive und intensive Dachbegrünung sowie Dächer mit integriertem Retentionsspeicher.

Extensive Gründächer haben eine geringe Aufbauhöhe und trockenheitsverträgliche und pflegeleichte Vegetation. Der Pflegeaufwand ist bei extensiven Gründächern gering, sie werden allerdings nicht zum Aufenthalt genutzt.

Intensive Gründächer werden intensiviert begrünt. Unter Umständen steht sogar die Nutzung zum Aufenthalt im Vordergrund. Daher ist der Dachaufbau höher und schwerer. Auch der Pflegeaufwand ist bei einem intensiven Gründach höher.

Ein Gründach mit **integriertem Retentionsspeicher** verfügt über einen höheren Substrataufbau bzw. Retentionsraum in der Dränschicht und kann somit eine erhöhte Speicherfunktion für Niederschlagswasser erzielen. Es kann sowohl als extensives als auch intensives Gründach ausgeführt werden.

Umsetzungsbeispiel

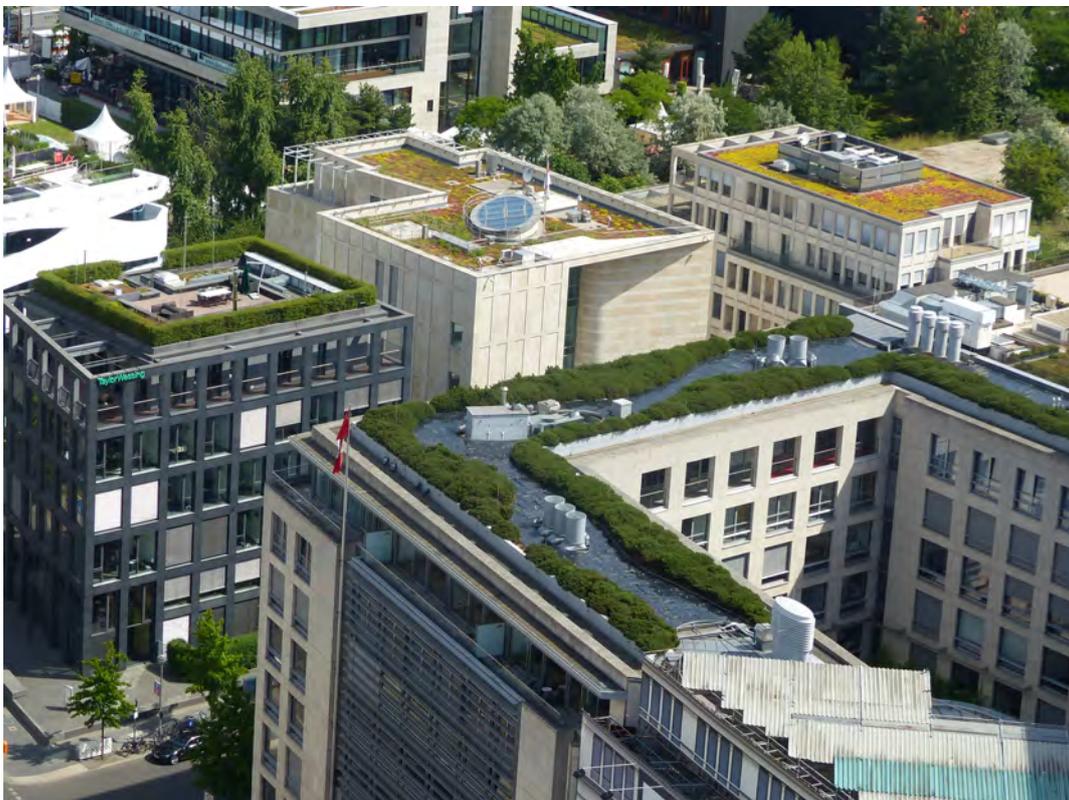


Abb. 1: Gründächer im urbanen Raum (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|--|---|
| Wasser | <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung
<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung
<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung
<input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
<input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung
<input type="checkbox"/> Verwertung
<input type="checkbox"/> Recycling | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung
<input type="checkbox"/> Beseitigung |
| Energie | <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung
<input type="checkbox"/> Energieverbrauch
<input type="checkbox"/> Elektrizität
<input type="checkbox"/> Brennstoffe | <input type="checkbox"/> Energieverteilung
<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
<input type="checkbox"/> Wärme |
| Fläche | <input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung
<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion
<input type="checkbox"/> Klimaschutz | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
<input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz |

Legende:

- kein Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 hohes Wirkpotential
 geringes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | |
|-------------------------|------------|--|
| k.A. m ² /EW | Min: 20 | <input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: 40 | <input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: 30 | <input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

Hinweis:

Kein zusätzlicher Flächenbedarf

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Dachbegrünungen können eingesetzt werden, um einen Teil des Niederschlagswassers durch gezielte Retention nicht oder verzögert zum Abfluss zu bringen und den Anteil der Verdunstung an der Gesamtwasserbilanz zu erhöhen. Nach der Begrünungsart werden extensive und intensive Dachbegrünungen unterschieden.

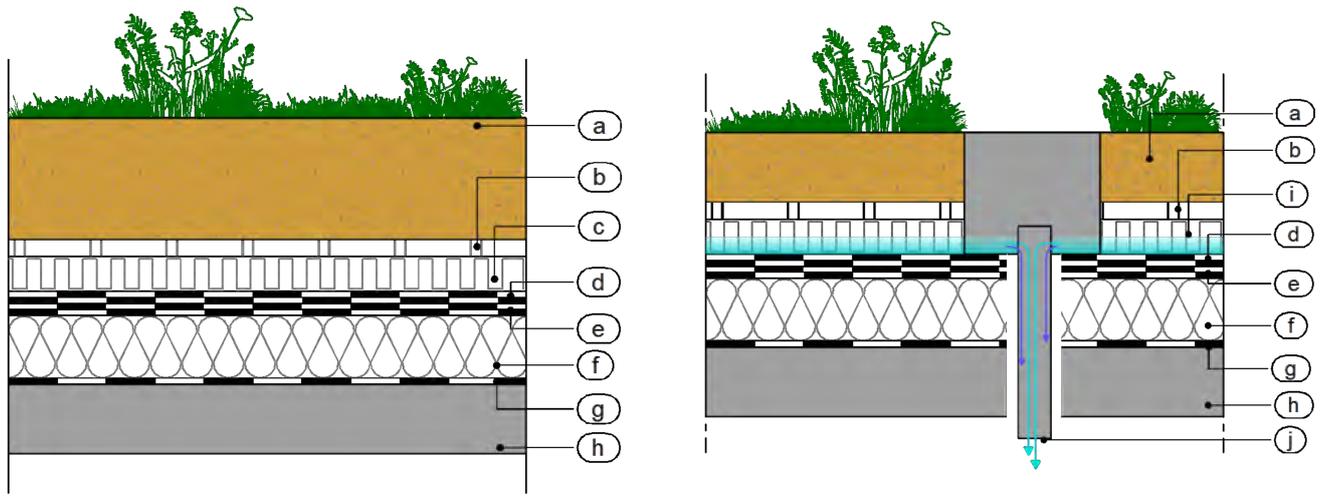
Extensive Dachbegrünungen haben eine dünne Substratschicht, eignen sich aufgrund der geringen Auflast auch zum nachträglichen Einbau und sind nicht zum Aufenthalt geeignet (außer für Wartungsgänge). Als Bepflanzungen eignen sich vor allem Sedum-Arten und Moose.

Intensive Dachbegrünungen mit Aufbauhöhen > 15 cm können bis zur kompletten Gartenlandschaft auf dem Dach bzw. der Tiefgarage mit Bäumen, Wegen, Teichen und Sumpfböden reichen. Sie werden auch als Ausgleich für fehlende Freiflächen genutzt. Insbesondere bei intensiven Gründächern mit dicken Substratschichten kann ein weitgehender Rückhalt des Regenwassers erreicht werden. Die verbleibenden Abflüsse werden in der Substratschicht zwischengespeichert und gedrosselt abgegeben. Der Anteil der Verdunstung und das Maß der Retention werden von der Höhe und der Art der Substratschicht, der Anstauhöhe im System, der Art der Bepflanzung und der Dachneigung bestimmt.

Der Aufbau extensiver und intensiver Gründächer besteht aus der Vegetationsschicht, der Filterschicht bzw. dem Substrat und einer Dränschicht. Bei extensiven Gründächern können die drei Funktionen auch in einer Schicht realisiert werden. Zwischen Substrat und Dränschicht sorgt ein Filtervlies für den Rückhalt von Feinteilen aus dem Substrat und sichert so die dauerhafte Funktion der Drainage. So können auch feine Substrate mit einem hohen organischen Anteil gewählt werden, um eine höhere Wasserspeicherfähigkeit, Verdunstungsleistung sowie eine höhere Artenvielfalt zu erzielen. In einigen Fällen ist unter der Dränschicht ein Schutzvlies aufgebracht. In jedem Fall muss das Dach unter der Begrünung wurzelfest abgedichtet werden.

Der Aufbau von einem Gründach mit **integriertem Retentionsspeicher** unterscheidet sich durch eine zusätzliche Retentionsschicht unterhalb des Substrats vom herkömmlichen Aufbau eines Gründachs. Dadurch wird die Retentionsleistung erhöht und die Abflussspitze gedrosselt. Nach einem definierten Zeitraum kann das gespeicherte Niederschlagswasser abgegeben werden. Der zusätzliche Retentionsraum kann bis zu etwa 140 Liter pro Quadratmeter fassen. Zusätzlich kann das gespeicherte Regenwasser zur Überbrückung längerer Trockenphasen beitragen. Die höhere statische Traglast der Dachkonstruktion muss vorab berücksichtigt werden.

Systemskizze



- (a) Substratschicht (Höhe abhängig von Begrünungsart)
 - (b) Filterschicht
 - (c) Dränschicht
 - (d) Schutzlage und Durchwurzelungsschutz
 - (e) Abdichtung und Dampfdruckausgleichsschicht
- (f) Wärmedämmschicht
 - (g) Dampfsperre
 - (h) Stahlbetondecke
 - (i) Retentionsschicht
 - (j) Drossel zur Abflusssteuerung

Abb. 2: Gründach extensiv/ intensiv (li.) und Gründach mit integriertem Retentionspeicher (re.)
(Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Extensive Gründächer können auf allen Dächern bis ca. 45° Dachneigung sowohl bei Neubauten als auch im Bestand realisiert werden, wenn die statischen Verhältnisse des Daches dies zulassen (Prüfung erforderlich). Ab 15° Dachneigung sind zusätzliche Maßnahmen gegen das Abrutschen des Aufbaus zu treffen.

Intensive Gründächer können auf Dächern mit einer Dachneigung von 0 bis 5° unter Berücksichtigung der erhöhten Lasten implementiert werden.

Die langfristige Dichtigkeit des Daches gegen drückendes Wasser inkl. Durchwurzelungsschutz ist eine Voraussetzung für Gründächer. Alle Dachbauweisen (Kaltdach, Warmdach, Umkehrdach) sind für Begrünungen geeignet, das Warmdach (einschaliges Dach mit Wärmedämmung) insbesondere auch für höhere Auflasten. Um die Belastung der Umwelt mit Bioziden zu vermeiden, sollten nach Möglichkeit biozidfreie Dachabdichtungen verwendet werden. Festsetzungen zur „Bauwerksbegrünung“ werden regelmäßig in Bebauungsplänen getroffen, wenn sie städtebaulich erforderlich sind (§ 1 Absatz 3 BauGB). Sie können als „Ausgleichsmaßnahmen“ festgesetzt werden, wenn eine rechtliche Verpflichtung dazu besteht. In § 1a BauGB sind ergänzende Vorschriften zum Umweltschutz enthalten, die auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel beinhalten.

Norm/Regelwerk

Titel

FLL (2008, 2014)

Dachbegrünungsrichtlinie

Flachdachrichtlinie	Fachregel für Abdichtungen
DIN 18531	Dachabdichtungen
DWA-A 102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer

Aufwand und Kosten

Der Pflegeaufwand der **extensiven Dachbegrünung** ist bei richtiger, standort- und substratgerechter Auswahl der Pflanzen gering (zwei Kontrollgänge pro Jahr). Hierzu gehören das Entfernen von Fremdaufwuchs, Nachsaat/ Nachpflanzung, Düngung sowie die Kontrolle und Reinigung der Be- und Entwässerungseinrichtungen. Die Pflege hängt aber auch von den optischen Ansprüchen an das extensive Gründach ab.

Eine **intensive Dachbegrünung** ist je nach Vegetation regelmäßig zu bewässern und zu düngen und bedarf der üblichen gärtnerischen Pflege wie Baum- und Strauchschnitt. Bei Gräsern kann eine Mahd notwendig werden. Je nach Vegetationsform sind zwei bis acht Pflegegänge pro Jahr erforderlich, bei Rasenflächen für Spiel und Sport sind wöchentliche Pflegegänge notwendig. Weiterhin benötigen intensive Dachbegrünungen eine Be- und Entwässerung, um die Wasser- und Nährstoffversorgung dauerhaft zu erhalten. Hier sind Prüf- und Wartungsintervalle zu berücksichtigen.

Der Pflege- und Wartungsaufwand von **Retentionsdächern** ist ähnlich hoch wie bei anderen Dachbegrünungen. Aufgrund der höheren Feuchteverhältnisse ist hier jedoch ein üppigeres Wachstum, sodass öfter gemäht und Fremdbewuchs entfernt werden muss. Zusätzlich muss der Drosselablauf geprüft und gereinigt werden.

	Investitionskosten			Betriebskosten			
	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/(m ² ×a)	€/(m ² ×a)	€/(m ² ×a)	
min	14 * ¹	34 * ²	33 * ³	min	0,50 * ¹	3,50 * ²	1,50 * ³
max	78 * ¹	140 * ²	45 * ³	max	3,00 * ¹	6,00 * ²	3,00 * ³
üblich	40 * ¹	71 * ²	39 * ³	üblich	1,25 * ¹	5,00 * ²	2,25 * ³

Hinweis:

*¹ extensives Gründach

*² intensives Gründach

*³ Retentionsdach

Die Kosten können je nach Substratdicke variieren.

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Substratdicke	<ul style="list-style-type: none"> • 8 - 15 cm für extensive Gründächer, einschichtig • 15 - 100 cm für intensive Gründächer, mehrschichtig • 15 - 100 cm für Retentionsdächer
Traglast	<ul style="list-style-type: none"> • 90 - 180 kg/m² für extensive Gründächer • Ab 180 kg/m² für intensive Gründächer • 130 - 1.200 kg/m² plus temporärer Speicher etwa 70 - 140 l/m² für Retentionsdächer • Zusätzlich sind Schneelast, Windsoglast und Nutzlast bei Kontrollgängen zu berücksichtigen
Vegetationsformen	<ul style="list-style-type: none"> • Extensiv: Sedum-Moos, Sedum-Gras-Kraut, Gras-Kraut • Intensiv: Rasen, Stauden-Gehölze, Stauden-Sträucher-Bäume • Retentionsdach: alle Vegetationsformen extensiver und intensiver Dachbegrünungen sind möglich
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung urbaner Vegetation fördert die Verdunstung • Eine Einleitung von Dachflächenabflüssen in Versickerungsanlagen ist sinnvoll, da Verdunstung sowie Grundwasserneubildung weitergehend gefördert werden können 	
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung mit Grauwasser möglich 	
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der Dachabdichtung vor z.B. Temperaturdifferenzen, Strahlung und Versprödung • Die Maßnahme kann im Rahmen einer Ausschreibung (z.B. für öffentliche Gebäude) mitberücksichtigt werden • Einfachere Einbettung der Technologien und Verbesserung bei Planungs- und Anpassungsprozessen durch Verfügbarkeit der Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Statik/ mehr Baumaterial nötig • Bei falscher Konstruktion können Dachabdichtungen durch die Wurzeln beschädigt werden • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen

Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination mit Photovoltaik möglich • Wärmedämmende Wirkung 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenkonkurrenz Photovoltaik (bei Ausschluss Kombination)
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Nutzungsdichte 	<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Zielkonflikt mit Aufenthaltsfunktion • Ggf. Flächenkonkurrenz möglich

Ökobilanzielle Bewertung

Die ökobilanzielle Bewertung eines Gründaches hängt von verschiedenen Faktoren, aber vor allem von klimatischen Bedingungen, ab. Da das Gründach im Sommer die Kühlung des Raumes unterstützt, hängt die Fähigkeit des Gründachs CO₂ einzusparen davon ab, ob im Sommer eine normalerweise eingesetzte Klimaanlage weniger genutzt werden muss. In einigen Fällen wird davon ausgegangen, dass Gründächer auch im Winter dämmen, was zu einem geringeren Heizbedarf führen würde. Diese zusätzliche Dämmleistung ist allerdings umstritten, da ein Gründach sich im Winter oft in einem feuchten Zustand befindet und somit eine höhere Wärmeleitfähigkeit hat als ein Dämmstoff. Zirkelbach (2017) konnte fast keine zusätzliche Dämmwirkung von Gründächern im Vergleich zu anderen Dacharten im deutschen Kontext feststellen. Da die Umweltauswirkungen eines Gründaches von den Konstruktionsmaterialien dominiert werden, sollten möglichst recycelte Materialien verwendet werden, die keinen weiten Transportweg mit sich bringen (Blackhurst et al., 2010; Gargari et al., 2016).

Literaturstellen

Zirkelbach, D., 2017. GREEN ROOFS – HYGROTHERMAL SIMULATION OF MOISTURE AND ENERGY PERFORMANCE, in: Proceedings of the 1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future. Zadar, Croatia, pp. 810–815.

Blackhurst, M., Hendrickson, C., Matthews, H.S., 2010. Cost-Effectiveness of Green Roofs. J. Archit. Eng. 16. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000022](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000022)

Gargari, C., Bibbiani, C., Fantozzi, F., Campiotti, C.A., 2016. Environmental Impact of Green Roofing: The Contribute of a Green Roof to the Sustainable use of Natural Resources in a Life Cycle Approach. Agric. Agric. Sci. Procedia 8. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.087>

Kombinationsmöglichkeiten

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Mulden- und Flächenversickerung](#)

[Schachtversickerung](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Solarthermieanlagen](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Schaffung von Lebensraum als Beitrag zum Artenschutz, Erhöhung der Biodiversität

Schutz der Dachabdichtungen vor Witterung, UV-Strahlung

Verbesserung des Stadtklimas und der Luftqualität (hohe Verdunstungsleistung), bemerkbar nur bei niedrigen Dächern (z.B. Tiefgaragen), Kühlungseffekt im Sommer, wärmedämmende Wirkung

Wasserrückhalt, Reduzierung des hydraulischen Stresses in Oberflächengewässern sowie die Häufigkeit und das Ausmaß von Mischwasserüberläufen

Retentionsdach: Verringerung des Trockenstresses für die Dachpflanzen

Reduzierung der Investitionskosten durch Umsetzung der Dachbegrünung im Zuge von ohnehin geplanten Baumaßnahmen

Intensive Dachbegrünung: Erhöhung der Freiraum- und Lebensqualität, zum Ausgleich von Flächenkonkurrenzen

Schaffung zusätzlicher Nutzfläche

Positiver Beitrag für das Stadtbild

Für die Umsetzung ist kein zusätzlicher Grunderwerb nötig

Nachteile

Intensive Dachbegrünung: Pflege- und Bewässerungsaufwand

Stadtklimatische Wirkung in Straßenschlucht oft nicht bemerkbar

Intensive Dachbegrünung: hoher Ressourcenverbrauch und Kosten

Mögliches Schadenspotential durch Undichtigkeit

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Oberbillwerder	Hamburg	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • neuer, klimaangepasster und zukunftsbeständiger Stadtteil Hamburgs • Fläche: 120 ha • Dachbegrünungen als dezentrale Regenwasserbewirtschaftung • Verbesserung des Mikroklimas im Quartier und Vorbeugung von Überschwemmungen
Bo01 Western Harbour	Malmö	Schweden	<ul style="list-style-type: none"> • Umgestaltung eines ehemaligen Industriegebietes und Hafens (1998 bis 2001) • Fläche: 30 ha • Etablierung zahlreicher Gründächer zur Verzögerung und Minderung des Abflusses
Stadtwerke Bochum	Bochum	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • 3.600 m² großes Retentionsdach • Realisierung: 2011 • Verzögerte Ableitung von Regenwasser • Minimierung von Abflussspitzen

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Dachgarten

KURZINFORMATION

Dachgärten sind Gründächer mit Aufenthaltsfunktion. Sie stellen durch ihre Begehrbarkeit erweiterte Aufenthaltsräume dar. Die Vegetation ist ähnlich wie die in ebenerdigen Gärten.

Umsetzungsbeispiel

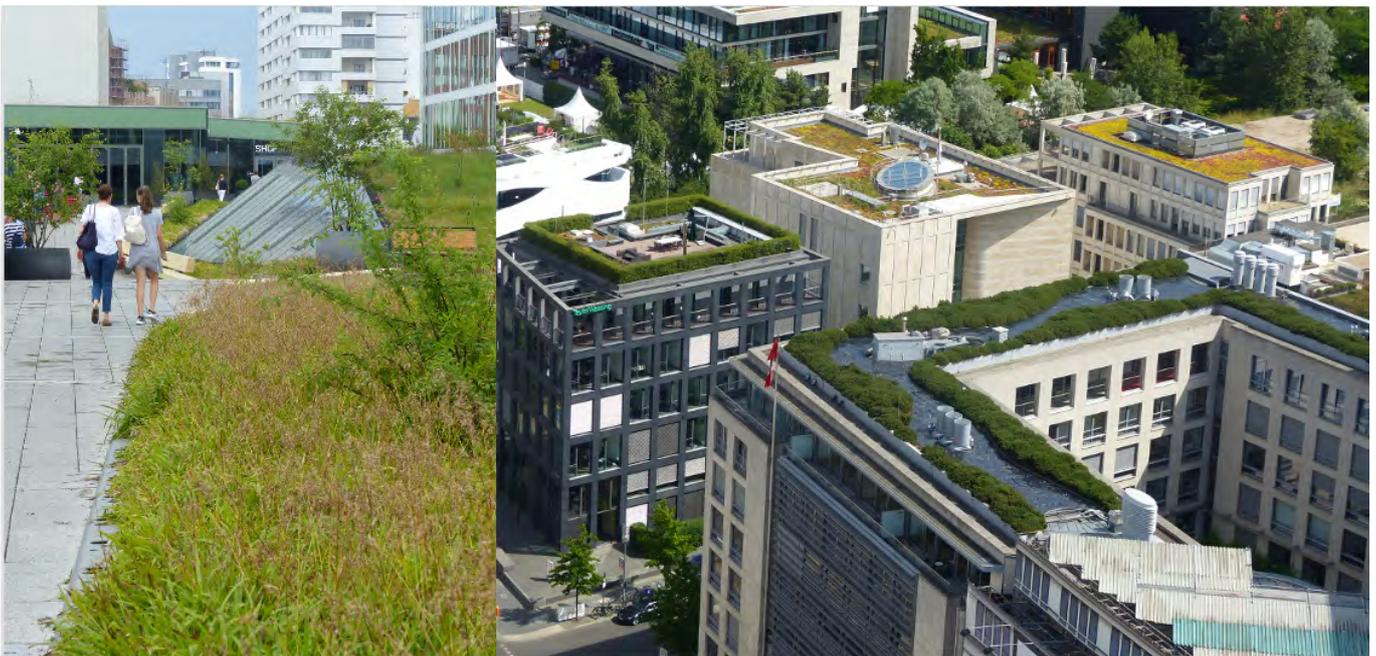


Abb. 1: Dachgärten im urbanen Raum (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
- Schmutzwasser
- Baustoffe
- Energie
- Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|--|--|
| Wasser | <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung |
| Energie | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Energieverteilung |

- Energieverbrauch
- Elektrizität
- Brennstoffe
- Energiespeicherung
- Wärme

- Fläche**
- Klimaanpassung
 - Erhalt d. Grunddaseinsfunktion
 - Klimaschutz
 - Gesundheitsschutz
 - Naturschutz

Legende:

- kein Wirkpotential
- mittleres Wirkpotential
- Wirkpotential vorhanden
- hohes Wirkpotential
- geringes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
- Grundstück
- Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | | |
|------------|---------|----|--|
| k.A. m²/EW | Min: | 20 | <input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: | 40 | <input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: | 30 | <input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

Hinweis:
Kein zusätzlicher Flächenbedarf

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Ein Dachgarten ist eine besondere Ausführung des intensiven Gründachs.

Dachgärten sind Aufenthaltsräume, die mit ähnlichen Pflanzen wie bei einem Hausgarten bepflanzt werden können. Rasenflächen, Stauden und Gehölze, aber auch Bäume können Vegetationsarten auf einem Dachgarten darstellen. Dachgärten werden nur auf flachen Dächern mit einer Dachneigung von 0-5° umgesetzt.

Die Substrathöhe eines Dachgartens ist von der angepflanzten Vegetation abhängig und liegt zwischen 25 und 100 cm.

Der Hauptunterschied zu herkömmlichen intensiv genutzten Gründächern ist die Möglichkeit einer regelmäßigen Neubepflanzung. Diese Möglichkeit macht den Dachgarten besonders vielseitig in seiner Nutzung und trägt zu einer hohen ökologischen Wertigkeit bei.

Systemskizze

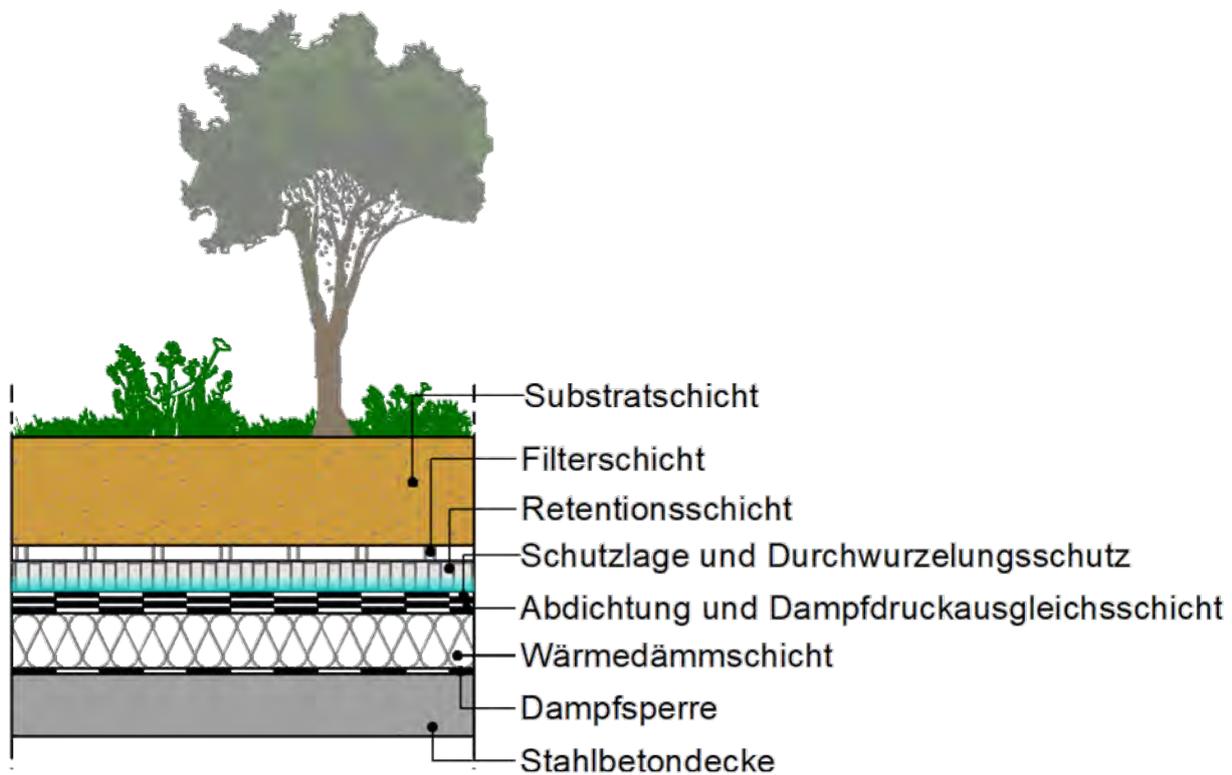


Abb. 2: Aufbau eines Dachgartens (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Dachgärten können nur auf ebenen Dächern mit einer Dachneigung von 0 bis 5° sowohl bei Neubauten als auch im Bestand realisiert werden, wenn die statischen Verhältnisse des Daches dies zulassen (Prüfung erforderlich). Die langfristige Dichtigkeit des Daches gegen drückendes Wasser inkl. Durchwurzelungsschutz ist eine Voraussetzung für ein solches intensiv genutztes Gründach. Um die Belastung der Umwelt mit Bioziden zu vermeiden, sollten nach Möglichkeit biozidfreie Dachabdichtungen verwendet werden. Dachgärten stellen eine zusätzliche Nutzfläche und Wohnraum dar, weshalb hier hohe Anforderungen an die Bau- und Vegetationstechnik gestellt werden. Die Schaffung neuer Dachgärten auf bisher nicht genutzten Dächern stellt eine Nutzungsänderung dar. Diese Nutzungsänderung kann nur im Einzelfall in dem Verfahren der Genehmigungsfreistellung nach § 63 BauO Bln (Anzeige) oder dem Vereinfachten Baugenehmigungsverfahren nach § 64 BauO Bln in Abhängigkeit von den planungsrechtlichen Voraussetzungen beurteilt werden. Festsetzungen zur „Bauwerksbegrünung“ werden regelmäßig in Bebauungsplänen getroffen, wenn sie städtebaulich erforderlich sind (§ 1 Absatz 3 BauGB). Sie können als „Ausgleichsmaßnahmen“ festgesetzt werden, wenn eine rechtliche Verpflichtung dazu besteht.

Norm/Regelwerk	Titel
FLL (2008, 2014)	Dachbegrünungsrichtlinie
Flachdachrichtlinie	Fachregel für Abdichtungen

DIN 18531	Dachabdichtungen
DWA-A 102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer

Aufwand und Kosten

Ein Dachgarten ist je nach Vegetation regelmäßig zu bewässern und zu düngen und bedarf der üblichen gärtnerischen Pflege wie Baum- und Strauchschnitt. Bei Gräsern kann eine Mahd notwendig werden. Je nach Vegetationsform sind zwei bis acht Pflegegänge pro Jahr erforderlich, bei Rasenflächen für Spiel und Sport sind wöchentliche Pflegegänge notwendig. Weiterhin benötigen intensive Dachbegrünungen eine Be- und Entwässerung, um die Wasser- und Nährstoffversorgung dauerhaft zu erhalten. Hier sind Prüf- und Wartungsintervalle zu berücksichtigen.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ²		€/(m ² *a)
min	90	min	3,50
max	646	max	6,00
üblich	410	üblich	5,00

Hinweis:

Kosten sind abhängig je nach gestalterischer Umsetzung eines Dachgartens

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Substratdicke	• 25 - 100 cm, mehrschichtig
Traglast	• Ab 300 kg/m ² • Zusätzlich sind Schneelast, Windsoglast und Nutzlast bei Kontrollgängen zu berücksichtigen
Vegetationsformen	• Rasen, Stauden-Gehölze, Stauden-Sträucher-Bäume
Materialien	• Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung urbaner Vegetation fördert die Verdunstung • Eine Einleitung von Dachflächenabflüssen in Versickerungsanlagen ist sinnvoll, da Verdunstung sowie Grundwasserneubildung weitergehend gefördert werden können 	
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung mit Grauwasser möglich 	
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der Dachabdichtung vor z.B. Temperaturdifferenzen, Strahlung und Versprödung • Die Maßnahme kann im Rahmen einer Ausschreibung (z.B. für öffentliche Gebäude) mitberücksichtigt werden • Einfachere Einbettung der Technologien und Verbesserung bei Planungs- und Anpassungsprozessen durch Verfügbarkeit der Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Statik/ mehr Baumaterial nötig • Bei falscher Konstruktion können Dachabdichtungen durch die Wurzeln beschädigt werden • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination mit Photovoltaik möglich • Wärmedämmende Wirkung 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenkonkurrenz Photovoltaik (bei Ausschluss Kombination) • Schallemission durch Kleinwindkraftanlage vermindert Aufenthaltsqualität
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Nutzungsdichte inkl. Aufenthaltsfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Flächenkonkurrenz möglich

Ökobilanzielle Bewertung

Zur Ökobilanz von Dachgärten liegen nur einzelne Studien vor. Die Installation von Bewässerungssystemen und die Anpassung der Statik eines Gebäudes etc. führen zu einer erhöhten Umweltbelastung entlang der Lieferkette. Sanyé-Mengual, et al. (2015) empfehlen z.B. für das Bewässerungssystem wiederverwendete Materialien zu nutzen, um die Ökobilanz zu verbessern. Ein Dachgarten ist am nachhaltigsten wenn er zur Lebensmittelproduktion verwendet wird. Aus Umweltperspektive sind auf Kokosnussreststoffen basierende Wachstumsmedien, gegenüber perlitbasierten Wachstumsmedien, zu bevorzugen (Toboso-Chavero et al., 2021).

Literaturstellen

Toboso-Chavero, S., Madrid-López, C., Villalba, G., Gabarrell Durany, X., Hückstädt, A.B., Finkbeiner, M., Lehmann, A., 2021. Environmental and social life cycle assessment of growing media for urban rooftop farming. Int. J. Life Cycle Assess. 18. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01971-5>

Sanyé-Mengual, E., 2015. Sustainability assessment of urban rooftop farming using an interdisciplinary approach. Dr. thesis.

Kombinationsmöglichkeiten

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Mulden- und Flächenversickerung](#)

[Schachtversickerung](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Schaffung von Lebensraum als Beitrag zum Artenschutz

Verbesserung des Stadtklimas und der Luftqualität (hohe Verdunstungsleistung), bemerkbar nur bei niedrigen Dächern (z.B. Tiefgaragen), Kühlungseffekt im Sommer, wärmedämmende Wirkung

Nachteile

Pflege- und Bewässerungsaufwand

hoher Ressourcenverbrauch und Kosten

Wasserrückhalt, Reduzierung des hydraulischen Stresses in Oberflächengewässern sowie die Häufigkeit und das Ausmaß von Mischwasserüberläufen	Mögliches Schadenspotential durch Undichtigkeit
Reduzierung der Investitionskosten durch Umsetzung der Dachbegrünung im Zuge von ohnehin geplanten Baumaßnahmen	
Lärminderung	
Bauteilschutz	
Erhöhung der Freiraum- und Lebensqualität, zum Ausgleich von Flächenkonkurrenzen	
Schaffung zusätzlicher Nutzfläche	
Positiver Beitrag für das Stadtbild	
Für die Umsetzung ist kein zusätzlicher Grunderwerb nötig	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Diakonissen Klinik	Augsburg	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Dachgarten auf dem Wirtschaftsgebäude der Diakonissen Klinik in Augsburg • Fläche: 370 m² • Positive Aufwertung des Wirtschaftshofes durch Dachgarten
Parkroyal on Pickering	Singapur	Singapur	<ul style="list-style-type: none"> • Parkroyal on Pickering ist eines der außergewöhnlichsten Garten-Hotels Asiens • Der Dachgarten sammelt Regenwasser und gibt es, gesteuert durch Sensoren, bei Bedarf wieder ab.

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Blue roof

KURZINFORMATION

Auf einem Blue roof werden dezentrale Speicherelemente zum Rückhalt und zur verzögerten Abgabe von Niederschlagswasser vorgesehen (Abb.1). Die Speicher können individuell konzipiert und an die lokale Situation angepasst werden. Diese Form der Niederschlagswasserretention kann in dicht besiedelten städtischen Gebieten angewandt werden und stellt eine einfache Alternative zu zentralen Rückhalteräumen dar.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Umsetzung von Speicherelementen auf Dächern (Bildquelle: Campisano et al. 2019)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung

- Energieverbrauch
- Elektrizität
- Brennstoffe
- Energiespeicherung
- Wärme

- Fläche**
- Klimaanpassung
 - Erhalt d. Grunddaseinsfunktion
 - Klimaschutz
 - Gesundheitsschutz
 - Naturschutz

Legende:

- kein Wirkpotential
- mittleres Wirkpotential
- Wirkpotential vorhanden
- hohes Wirkpotential
- geringes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
- Grundstück
- Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- k.A. m²/EW
- Min: k.A.
- Max: k.A.
- Üblich: k.A.
- Stand der Wissenschaft und Technik
- Stand der Technik
- Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Kein zusätzlicher Flächenbedarf

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Blue roofs zielen primär auf den Rückhalt und die temporäre Speicherung von Niederschlagswasser ab. Dabei kann das Niederschlagswasser über bspw. mit Kies gefüllte Rechteckbehälter aufgefangen und gesammelt werden. Dadurch wird der Spitzenabfluss minimiert und die Kanalisation entlastet.

Der Aufbau eines Blue roofs ist relativ leicht, daher eignet er sich bei Dächern, welche keine hohe zusätzliche Last aufnehmen können. Eine statische Überprüfung der Lastaufnahmefähigkeit sollte trotzdem durchgeführt werden.

Systemskizze

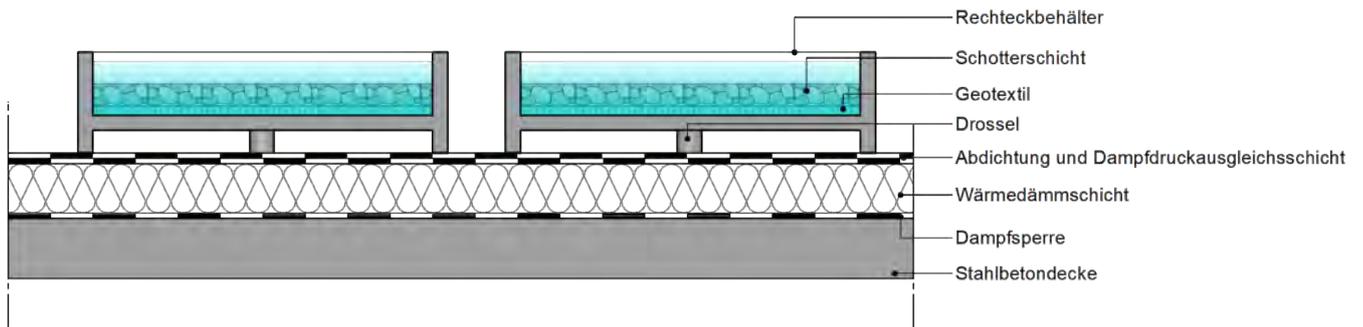


Abb. 2: Möglicher Aufbau eines Blue roofs (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Das Prinzip des Blue roofs wird in immer mehr Ländern umgesetzt. Bis jetzt gibt es in Europa noch keine Normen, allerdings bieten Richtlinien aus den USA vorläufige Konstruktionshinweise.

Üblicherweise werden die Schalen reihenweise auf dem Dach angeordnet. Ein Abstand von 0,4 m zwischen den Reihen wird aufgrund von Wartungsarbeiten empfohlen. Alternativ kann ein Aufbau bestehend aus nur einer Schale gewählt werden.

Die Schalen bestehen aus Polypropylen, um ausreichend beständig gegen UV-Strahlen zu sein. Zudem ist jede Schale mit einem Geotextil und einer darüber liegenden Schotterschicht versehen, um Verstopfungen des Bodenablaufs zu vermindern und eine Auflast aufgrund von Windauftrieb oder Stößen herzustellen. Die Schalen werden angehoben und auf Füßen gestellt, um freie Abflussbedingungen sicher zu stellen.

Die zurückgehaltene Wassermenge ist abhängig von den statischen Gegebenheiten des Daches. Üblich ist eine Wassertiefe von maximal zwei bis vier Zentimetern und einer maximalen Rückhaltezeit von 24 Stunden. Anschließend wird das Wasser entweder gedrosselt abgeleitet oder einem Speicher zugeführt.

Aufwand und Kosten

Der Pflegeaufwand eines Blue roofs ist gering. Die Dächer müssen sauber und frei von Verunreinigungen, wie bspw. Blätter gehalten werden, um Verstopfungen der Abflüsse zu vermeiden. Daher müssen in regelmäßigen Intervallen die Drosselabflüsse gewartet werden, um mögliche Überlastungen zu vermeiden.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ²		
min	86	min	k.A.
max	138	max	k.A.
üblich	112	üblich	k.A.

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Einleitung von Dachflächenabflüssen in Versickerungsanlagen ist sinnvoll, da Verdunstung sowie Grundwasserneubildung weitergehend gefördert werden können 	
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Baustoffeinsparung ggü. zentralen Beckenanlagen • Die Maßnahme kann im Rahmen einer Ausschreibung (z.B. für öffentliche Gebäude) mitberücksichtigt werden • Einfachere Einbettung der Technologien und Verbesserung bei Planungs- und Anpassungsprozessen durch Verfügbarkeit der Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Statik muss überprüft werden, ggf. ist mehr Baumaterial nötig • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination mit Photovoltaik 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenkonkurrenz Photovoltaik (bei Ausschluss Kombination)
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Nutzungsdichte 	<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Flächenkonkurrenz möglich

Kombinationsmöglichkeiten

[Mulden- und Flächenversickerung](#)

[Schachtversickerung](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Solarthermieanlagen](#)[Photovoltaikanlagen](#)[Kleinwindkraftanlagen](#)[Blockheizkraftwerke](#)[Photovoltaikanlagen](#)[Kleinwindkraftanlagen](#)[Kleinstwasserkraftanlagen](#)[Smart Grids](#)[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Wasserrückhalt, temporäre Speicherung von Niederschlägen, Reduzierung des hydraulischen Stresses in Oberflächengewässern sowie die Häufigkeit und das Ausmaß von Mischwasserüberläufen

Kostengünstiger als Gründächer, einfach zu installieren

Gespeichertes Wasser kann genutzt werden, z.B. zu Bewässerungszwecken

Nachrüstung auch bei bestehenden Gebäuden möglich

Wartungsaufwand entspricht dem eines konventionellen Daches

Zusätzliche Dachlasten sind durch den leichten Aufbau relativ gering

Nachteile

Erhöhte statische Anforderungen

keine Förderung der Verdunstung (wie bei Gründächern)

keine Förderung der Biodiversität (wie bei Gründächern)

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Leiden Station Area	Leiden	Niederlande	<ul style="list-style-type: none"> • Gebietes um den Hauptbahnhof Leiden • Entstehung des „nachhaltigsten Kilometers der Niederlande“ • Zunehmende Bedeutung der Pufferkapazität für Regenwasser • Nutzung der Dächer zur Speicherung von Regenwasser

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Bewässerung

KURZINFORMATION

Die Auswirkungen des Klimawandels sind besonders in den urbanen Regionen zu spüren. Dabei treten vermehrt langanhaltende Dürrephasen auf, sodass die Vitalität der Vegetation und damit auch die erwünschten Effekte gefährdet sind. Eine effektive Bewässerung von Grünflächen kann in urbanen Gebieten die Vitalität erhalten und einen Hitzestau vermeiden. Die Verdunstung wird aktiv gefördert, sodass Hitzeinseln vermindert werden. Zur effektiven Steigerung der Kühlleistung und Verbesserung des Mikroklimas empfiehlt sich zur Vegetationsbewässerung auch Regenwasser oder Brauchwasser zu nutzen, um gleichzeitig Trinkwasserressourcen einzusparen.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Bewässerung im Garten (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- Wasser**
 Förderung Verdunstung
 Förderung Grundwasserneubildung
 Förderung Behandlung
 Trinkwassereinsparung

	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz
	<input checked="" type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

<input type="checkbox"/> kein Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential
<input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential	

Anwendungsebene

<input checked="" type="checkbox"/> Gebäude	<input checked="" type="checkbox"/> Grundstück	<input type="checkbox"/> Quartier
---	--	-----------------------------------

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW	Min: k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:
Bei der Bewässerung mit Regenwasser müssen Tanks zur Speicherung aufgestellt werden, je nach gewünschtem Speichervolumen variiert der Flächenbedarf.

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Die Etablierung von Bewässerungssystemen hat einen wichtigen Stellenwert für die Verdunstung und Kühlung der Städte. Mithilfe einer geeigneten Bewässerung von urbanem Grün auf städtischen wie auch privaten Flächen, kann die Vitalität in Trockenphasen erhalten bleiben und die Verdunstung und somit die Kühlwirkung in der Stadt erhöht werden. Das Mikroklima kann durch die Reduktion von Hitzeinseln verbessert werden. Begrünte Fassaden, Gründächer, Gärten

und urbanes Grün können mit Bewässerungssystemen ausgestattet werden.

Systemskizze

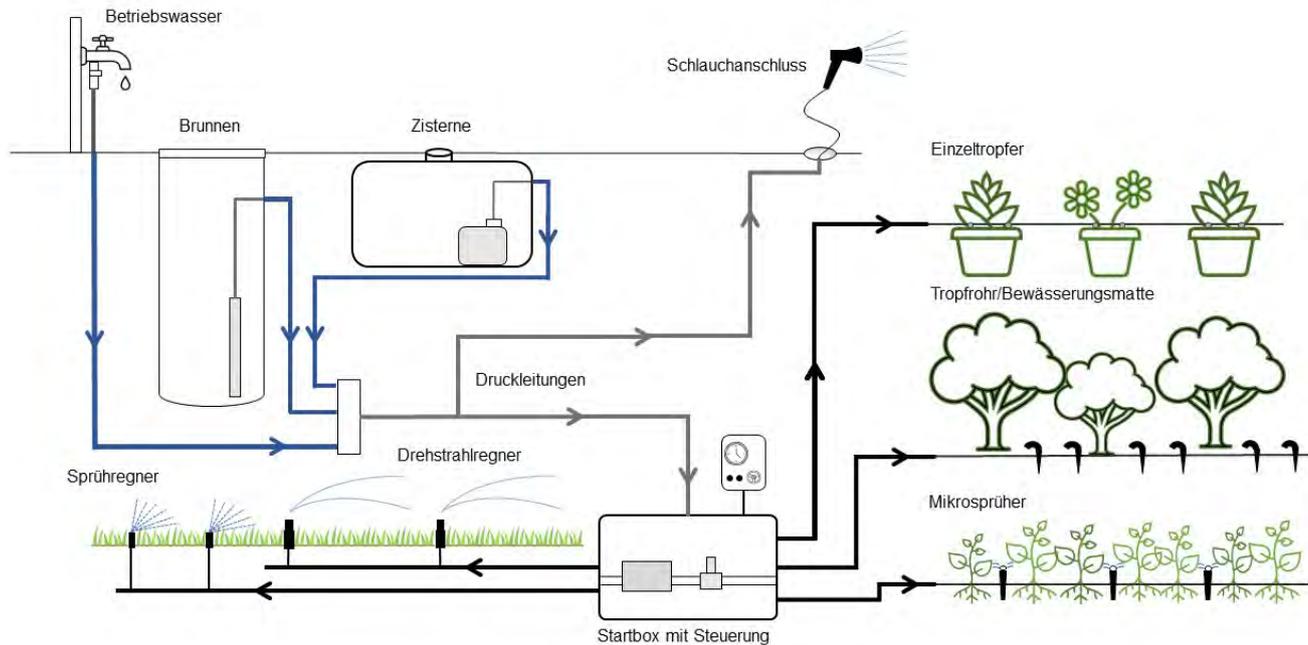


Abb. 2: Elemente eines Bewässerungssystems (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Das Ziel einer nachhaltigen Bewässerung ist eine möglichst sparsame und bedarfsgerechte Verteilung des Wassers auf der Grünfläche. Dabei sollte die Intensität der Bewässerung auf die Boden-, Gelände- und Witterungsverhältnisse angepasst werden. Die Wassergabe sollte sich an der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelbereich orientieren, um eine optimale Wasserversorgung zu garantieren. Zur Bewässerung eignet sich sowohl Regenwasser als auch Trinkwasser. Die Regenwassernutzungsanlagen sind nicht genehmigungspflichtig. Bei der Nutzung des Regenwassers ist die Quelle und Qualität des Regenwassers zu beachten.

Wenn konkrete Zielstellungen bezüglich des Niederschlagsrückhaltes bestehen, sollte für die Dimensionierung der Speicher eine Langzeitsimulation auf Grundlage einer örtlichen Regenreihe erfolgen. Je nach Bedarf sollte der Regenspeicher mit dem Trinkwassernetz verbunden sein, sodass eine automatisierte Nachspeisung erfolgen kann, wenn der Speicher trockenfällt.

Bei der Sammlung von stärker verschmutztem Niederschlagswasser, z.B. von Straßen- oder Gehwegflächen, kann durch die Installation eines sogenannten „externen Überlaufs“ die stoffliche Belastung der Oberflächengewässer im Starkregenfall minimiert werden. Der externe Überlauf bewirkt, dass im Falle einer Vollerfüllung der Zisterne tendenziell stärker belastetes Niederschlagswasser in der Zisterne zurückgehalten wird und nur der weniger belastete Teil zum Überlauf kommt. Der externe Überlauf wird vor allem in Gebieten mit Trennkanalisation empfohlen, in

denen der Niederschlagsabfluss ohne weitere Behandlung in den Vorfluter eingeleitet wird.

Bei der Bewässerung mit Niederschlagswasser müssen die Anforderungen an die Wasserqualität aus technischer, hygienischer und pflanzenphysiologischer Sicht erfüllt sein.

Je nach Art der Vegetation und vorherrschender Situation eignen sich unterschiedliche Bewässerungssysteme, welche sich durch die maximale Wassermenge und die Art der Wasserausbringung unterscheiden. Generell eignen sich bodennahe und langsame Bewässerungssysteme, um eine homogene Durchfeuchtung des Wurzelbereichs zu ermöglichen und die Verluste über Verdunstung und nicht-zielgerichtete Bewässerung zu vermindern. Dabei ist der Zeitpunkt der Bewässerung ein entscheidender Faktor für eine artgerechte Pflege. Demnach darf die Pflanze nicht unter Trockenstress leiden und frühzeitig bewässert werden. Die kann durch eine Bewässerungssteuerung sichergestellt werden. Nach dem Stand der Technik kann die Bewässerung automatisiert sensorgestützt oder über Modellrechnungen erfolgen.

Norm/Regelwerk	Titel
FLL (2015)	FLL-Bewässerungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen
DIN 1989 (2002)	Regenwassernutzungsanlagen
DIN 1986-30 (2012)	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke
DIN EN 16941-1 (2018)	Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser – Teil1: Anlagen für die Verwendung von Regenwasser
fbr Hinweisblatt H101 (fbr 2016)	Kombination der Regenwassernutzung mit der Regenwasserversickerung

Aufwand und Kosten

Investitionskosten		Betriebskosten	
	€/m ³		€/(m ² × A _{b,a} × a)
min	90	min	k.A.
max	900	max	k.A.
üblich	420	üblich	k.A.

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Fläche	Beitrag zur Klimaanpassung durch Förderung der Verdunstungskühlung	

Ökobilanzielle Bewertung

Es liegt keine allgemeine ökobilanzielle Bewertung von Bewässerung vor. Die Bewertung des Wasserverbrauchs ist von Trockenheit und Verfügbarkeit des Wassers abhängig. Da zur Wasserförderung meist Pumpen notwendig sind, sollten möglichst erneuerbaren Energien genutzt werden.

Kombinationsmöglichkeiten

[Fassadenbegrünung](#)

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Verbesserung Mikroklima

Erhöhen des Kühleffektes

Erhalt der Vitalität von Grünflächen in Trockenphasen

Optimale Wasserversorgung der Grünflächen

Nachteile

Erhöhte Investitions- und Unterhaltungskosten

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Gewerbehof Prisma	Nürnberg	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Gewerbehof Prisma in Nürnberg • Fertigstellung: 1997 • 61 Wohneinheiten • Kühlung mithilfe einer Naturklimaanlage • Intensive Begrünung des Gebäudes mit Pflanzen, welche mit Regenwasser bewässert werden • Kühlung und Befeuchtung der Luft durch Wasserverdunstung • Förderung eines natürlichen Raumklimas

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Regenwassernutzung

KURZINFORMATION

Bei der Regenwassernutzung wird Niederschlagswasser gesammelt und einer späteren Nutzung zugeführt. Die Nutzung als Betriebswasser erfolgt im häuslichen, öffentlichen oder gewerblichen Bereich z.B. zur Bewässerung, Toilettenspülung oder zu Reinigungszwecken. So können gleichzeitig die Kosten zur Trinkwassernutzung eingespart werden.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Regenwassernutzung Hausinstallation (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | |
|---|--|
| <p>Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| <p>Baustoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung |

Energie

- Energiebereitstellung
- Energieverbrauch
- Elektrizität
- Brennstoffe
- Energieverteilung
- Energiespeicherung
- Wärme

Fläche

- Klimaanpassung
- Erhalt d. Grunddaseinsfunktion
- Klimaschutz
- Gesundheitsschutz
- Naturschutz

Legende:

kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	20	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,5 - 1 m ² /100 m ² Dach	Max:	70	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	40	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

- Der Flächenbedarf entspricht 2 - 6 % des Speichervolumen des Jahresniederschlags
- Nutzungsdauer für Pumpen und Filter: 10 Jahre

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Regenwasser wird in Zisternen gesammelt, mechanisch gefiltert und in Behältern gespeichert, in der Regel unterirdisch. Zur Entfernung fein verteilter Feststoffe ist in den Speicherbehältern eine Sedimentation vorgesehen. Das im Speicher gesammelte Wasser wird oberhalb der Sedimentationszone mittels Saugpumpe zu den einzelnen Verbrauchsstellen gefördert. Durch eine automatische Füllstandserfassung und Nachspeisung kann die Versorgung bei leerem Speicher durch die Einspeisung von Trinkwasser in freiem Einlauf sichergestellt werden. In der Regel sind die mechanische Filtration und die Sedimentation als Aufbereitungsmaßnahmen ausreichend. Falls es aufgrund eines erhöhten Betriebswasserbedarfs sinnvoll ist, auch stärker verschmutzte Auffangflächen (z.B. Verkehrsflächen) zu nutzen, ist eine weitergehende Aufbereitung in Abhängigkeit von der Quelle des Regenwassers bzw. dem Grad der Verschmutzung und dessen Nutzung durchzuführen (z.B. Flockung, biologische Verfahren, UV-

Desinfektion, Membranverfahren). Für die Betriebswasserversorgung ist ein separates Leitungsnetz erforderlich, das entsprechend zu kennzeichnen ist.

Systemskizze

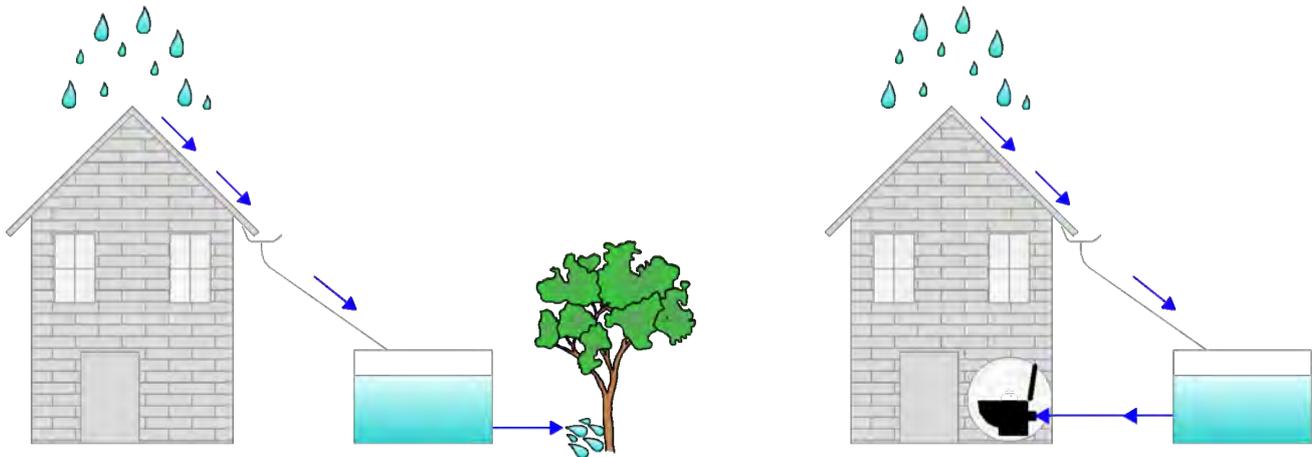


Abb. 2: Regenwassernutzung zur Bewässerung (li.) und zur Toilettenspülung (re., eine Kombination beider Varianten ist möglich) (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Regenwassernutzungsanlagen sind nicht genehmigungspflichtig. Allerdings besteht nach Trinkwasserverordnung bzw. Abwasserverordnung eine Anzeigepflicht gegenüber dem Gesundheitsamt und dem Betreiber der Abwasserentsorgung (SenStadt 2003). Bei der Nutzung des Regenwassers ist generell die Quelle und Qualität des Regenwassers zu beachten. Wenn konkrete Zielstellungen bezüglich des Niederschlagsrückhaltes bestehen, sollte für die Dimensionierung der Speicher eine Langzeitsimulation auf Grundlage einer örtlichen Regenreihe erfolgen. Bei der Sammlung von stärker verschmutztem Niederschlagswasser, z.B. von Straßen- oder Gehwegsflächen, kann durch die Installation eines sogenannten „externen Überlaufs“ die stoffliche Belastung der Oberflächengewässer im Starkregenfall minimiert werden. Der externe Überlauf bewirkt, dass im Falle einer Vollenfüllung der Zisterne tendenziell stärker belastetes Niederschlagswasser in der Zisterne zurückgehalten wird und nur der weniger belastete Teil zum Überlauf kommt. Der externe Überlauf wird vor allem in Gebieten mit Trennkanalisation empfohlen, in denen der Niederschlagsabfluss ohne weitere Behandlung in den Vorfluter eingeleitet wird.

Norm/Regelwerk	Titel
DIN 1989 (2002)	Regenwassernutzungsanlagen
DIN 1986-30 (2012)	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke
DIN EN 16941-1 (2018)	Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser - Teil 1: Anlagen für die Verwendung von Regenwasser

Leitfaden

"Betriebwassernutzung in Gebäuden" (SenStadt 2007)

fbr Hinweisblatt H101 (fbr 2016)

Kombination der Regenwassernutzung mit der Regenwasserversickerung

FLL (2015)

FLL-Bewässerungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen

Aufwand und Kosten

Zisternen und die zugehörigen Anlagenteile müssen regelmäßig gewartet werden (DIN 1989, 2002). Zu den Aufgaben für Unterhaltung und Pflege gehören die Überprüfung der Pumpenanlagen und Rohrleitungen, die Entschlammung des Sammelbehälters bei Bedarf und die Säuberung der Abtrennung für Blätter.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ³	€/E		€/(m ² ×A _{b,a} ×a)	€/(E×a)
min	90 * ¹	625 * ²	min	k.A. * ¹	19 * ²
max	900 * ¹	1613 * ²	max	k.A. * ¹	25 * ²
üblich	420 * ¹	1188 * ²	üblich	0,75 * ¹	25 * ²

Hinweis:

*¹ RWN-Bewässerung

*² RWN-WC-Spülung

Weitergehende Hinweise

Bei der Umsetzung von Regenwassernutzungsanlagen sind die hygienischen Anforderungen entsprechend EU-Badegewässerrichtlinie (EU 2006) zu berücksichtigen.

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien

Zielkonflikte

Niederschlagswasser

- Regen- bzw. Grauwassernutzung zur Bewässerung urbaner Vegetation fördert die Verdunstung

Baustoffe

- Die Maßnahme kann im Rahmen einer Ausschreibung (z.B. für öffentliche Gebäude) mitberücksichtigt werden

Energie

- Deckung des anfallenden Strombedarfes

- Flächenkonkurrenz für weitere Gebäudetechnik

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz von Regenwassernutzung ist differenziert zu betrachten. Die ausschlaggebendsten Umweltauswirkungen entstehen durch die Pumpe und dem genutzten Strom. Die Bilanz kann durch die Stromgewinnung mit erneuerbaren Energien verbessert werden. Zudem sollte der Tank ein Volumen von 5 m³ nicht überschreiten (Morales-Pinzón et al., 2015).

Literaturstellen

Ghimire 2014 Life Cycle Assessment of Domestic and Agricultural Rainwater Harvesting Systems

Morales-Pinzón, T., Rieradevall, J., Gasol, C.M., Gabarrell, X., 2015. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. J. Clean. Prod. 87.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.021>

Kombinationsmöglichkeiten

[Fassadenbegrünung](#)

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Bewässerung](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile**Vorteile**

Senkung der Betriebskosten

Nachteile

Teilweise hohe Investitions- und Wartungskosten

Rückhalt von Regenwasser und Senkung des Abflusses	Erhöhter Ressourcenverbrauch aufgrund eines zweiten Leitungsnetzes und weiterer Gebäudetechnik
Reduzierung des Trink- und Abwasseraufkommens	Durch Fehlan Schlüsse kann das Trinkwasser durch Regenwasser verunreinigt werden
Stärkung des Umweltbewusstseins	Unausgeglichene Bedarfsdeckung bei Bewässerung möglich
Zisternen sind oftmals unterirdisch, daher keine Beeinflussung privater/ öffentlicher Plätze	
Möglichkeit der leichten bis moderaten Reduzierung der stofflichen Belastung der Oberflächengewässer	
Dank großer Auswahl können Regenspeicher individuell an örtliche Bedarfe angepasst werden	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Potsdamer Platz	Berlin	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • zukunftsweisendes, übergeordnetes Regenwassernutzkonzept zur Trinkwassereinsparung • Regenwasser wird von den Dächern der umliegenden Gebäude in unterirdischen Zisternen aufgefangen und zur Bewässerung der Grünflächen und zur Toilettenspülung verwendet
Ökohaus	Frankfurt am Main	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Sammlung von Regenwasser in zwei Teichen (seit 1992) • Speicherung des gereinigten Grundwassers in einer Zisterne • Fast komplette Deckung des Wasserbedarfs für Pflanzen und Toilettenspülung • Einsparung von jährlich 4 Mio. Trinkwasser

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung

KURZINFORMATION

Bei der kombinierten Regen- und Grauwassernutzung wird nicht nur das Niederschlagswasser, sondern auch das Grauwasser gesammelt und einer späteren Nutzung zugeführt. Grauwasser ist gering belastetes Abwasser aus Dusche, Badewanne, Waschbecken und ggf. Waschmaschine, welches mit geringem Aufwand aufbereitet werden kann.

Die Nutzung als Betriebswasser erfolgt im häuslichen, öffentlichen oder gewerblichen Bereich z.B. zur Bewässerung, Toilettenspülung oder zu Reinigungszwecken. So können gleichzeitig die Kosten zur Trinkwassernutzung eingespart werden.

Umsetzungsbeispiel

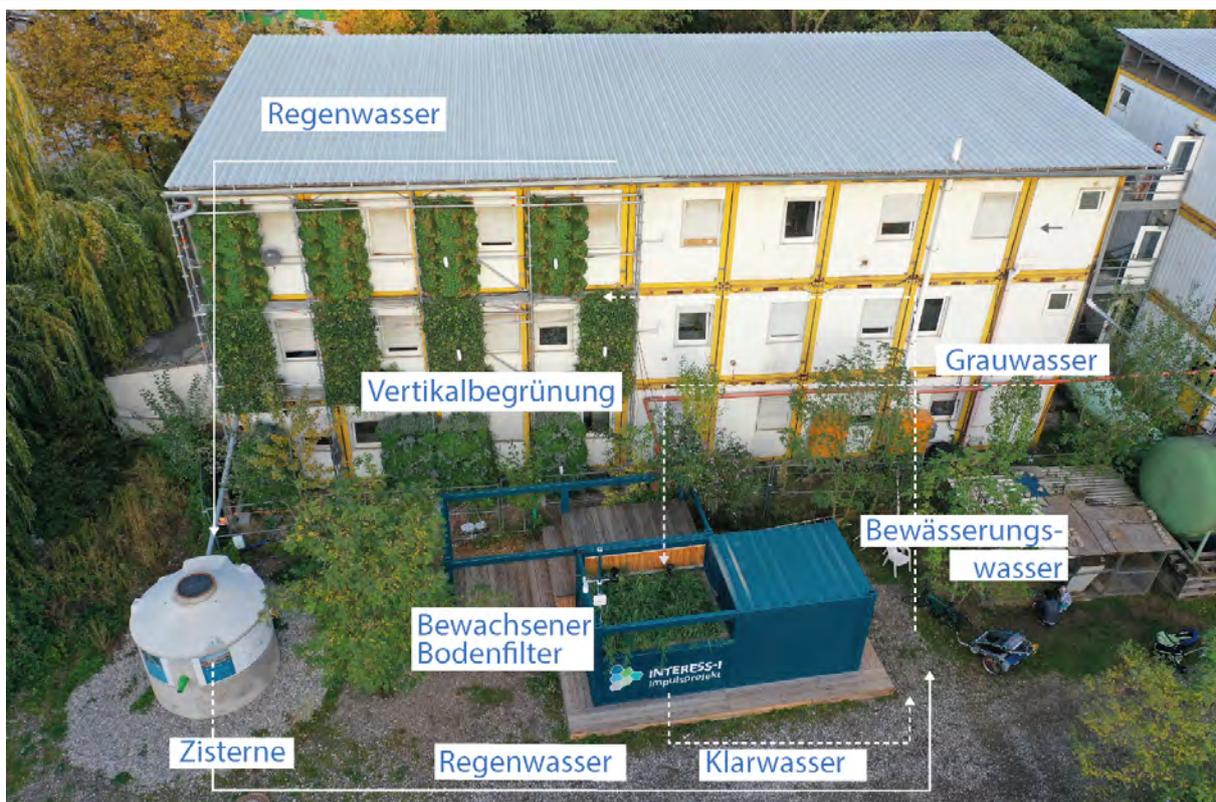


Abb. 1: Impulsprojekt Stuttgart mit den Hauptkomponenten Zisterne, multifunktionale Pflanzenkläranlage im Container und Vertikalbegrünung (Bildquelle: Bernd Eisenberg)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

<input type="checkbox"/> kein Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential
<input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential	

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

0,1 m ² /EW	Min: 20	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,5 - 1 m ² /100 m ² Dach	Max: 70	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 30	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:
 Der Flächenbedarf entspricht 2 - 6 % des Speichervolumen des Jahresniederschlages.

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Regenwasser und Grauwasser eignen sich beide als Betriebswasser. Die Kombination bewährt

sich vor allem bei nicht ausreichenden Kapazitäten von Niederschlags- bzw. Grauwasser. Sobald der Wasserbedarf nicht mehr mit Regenwasser gedeckt werden kann, wird mit recyceltem Grauwasser nachgespeist.

Regenwasser wird in Zisternen gesammelt, mechanisch gefiltert und in Behältern gespeichert, in der Regel unterirdisch. Zur Entfernung fein verteilter Feststoffe ist in den Speicherbehältern eine Sedimentation vorgesehen. Das im Speicher gesammelte Wasser wird oberhalb der Sedimentationszone mittels Saugpumpe zu den einzelnen Verbrauchsstellen gefördert. Durch eine automatische Füllstandserfassung und Nachspeisung kann die Versorgung bei leerem Speicher durch die Einspeisung von Trinkwasser in freiem Einlauf sichergestellt werden. In der Regel sind die mechanische Filtration und die Sedimentation als Aufbereitungsmaßnahmen ausreichend. Falls es aufgrund eines erhöhten Betriebswasserbedarfs (z.B. in gewerblichen und öffentlichen Einrichtungen) sinnvoll ist, auch stärker verschmutzte Auffangflächen (z.B. Verkehrsflächen) zu nutzen, ist eine weitergehende Aufbereitung in Abhängigkeit von der Quelle des Regenwassers bzw. dem Grad der Verschmutzung und dessen Nutzung durchzuführen (z.B. Flockung, biologische Verfahren, UV-Desinfektion, Membranverfahren). Für die Betriebswasserversorgung ist ein separates Leitungsnetz erforderlich, das entsprechend zu kennzeichnen ist.

Zusätzlich wird das Grauwasser, also das Abwasser aus Duschen, Baden, Händewaschen und der Waschmaschine, recycelt und beispielsweise für die WC-Spülung und Bewässerung aufbereitet und weiterverwendet. Das Grauwasser wird über einen Filter in einen Bioreaktor geleitet. Oberflächenverschmutzungen werden entfernt und der biologische Abbau startet. Mithilfe einer Membranstation, die sich in der Zisterne befindet, wird das Grauwasser ultrafiltriert und das aufbereitete Wasser in einen separaten Speicher gefördert. Von dort kann es zur Speisung zur Toilettenspülung, Waschmaschine oder Gartenbewässerung genutzt werden. Eine Schlammpumpe verhindert die Verschlammung, indem regelmäßig Sedimente abgepumpt werden. Das Grauwasserrecycling ist besonders bei einer hohen Bevölkerungsdichte lukrativ.

Systemskizze

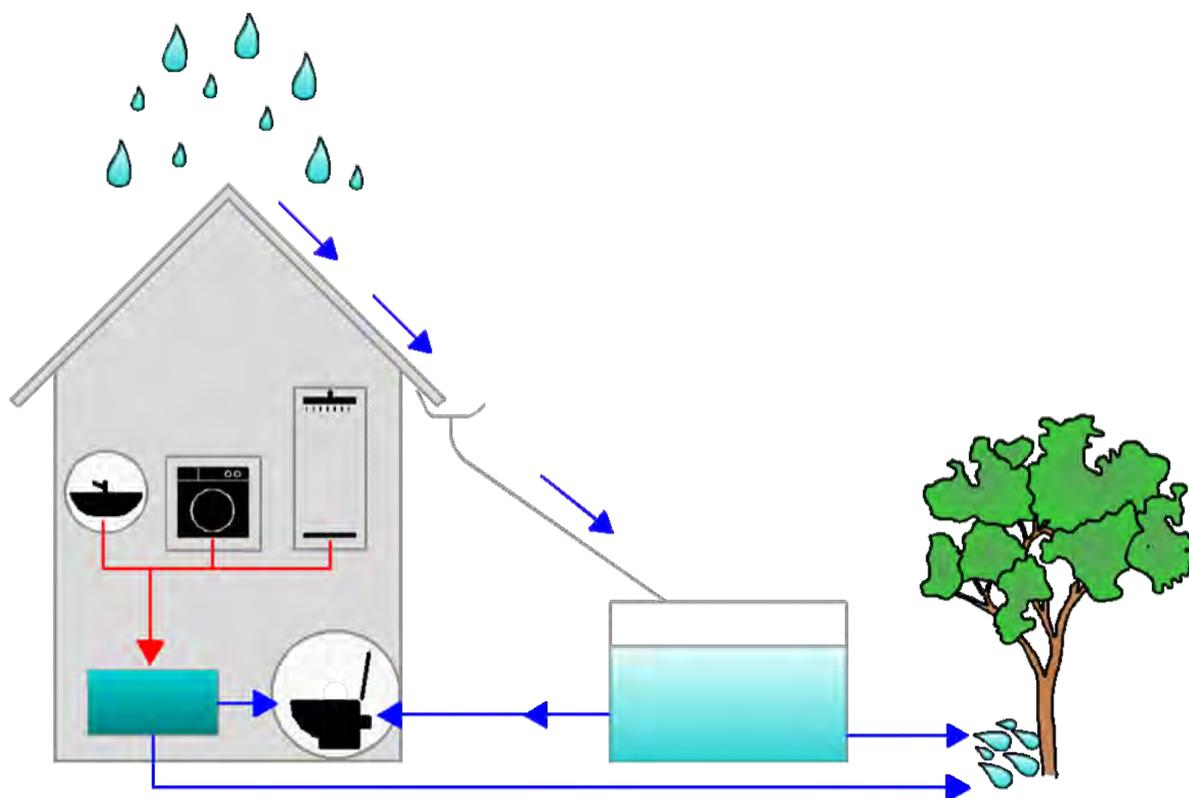


Abb. 2: Systemskizze einer kombinierten Regen- und Grauwassernutzung (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Regenwassernutzungsanlagen sind nicht genehmigungspflichtig. Allerdings besteht nach Trinkwasserverordnung bzw. Abwasserverordnung eine Anzeigepflicht gegenüber dem Gesundheitsamt und dem Betreiber der Abwasserentsorgung (SenStadt 2003). Bei der Nutzung des Regenwassers ist generell die Quelle und Qualität des Regenwassers zu beachten.

Wenn konkrete Zielstellungen bezüglich des Niederschlagsrückhaltes, insbesondere starker Regenereignisse, bestehen, sollte für die Dimensionierung der Speicher eine Langzeitsimulation auf Grundlage einer örtlichen Regenreihe erfolgen.

Bei der Sammlung von stärker verschmutztem Niederschlagswasser, z.B. von Straßen- oder Gehwegsflächen, kann durch die Installation eines sogenannten „externen Überlaufs“ die stoffliche Belastung der Oberflächengewässer im Starkregenfall minimiert werden. Der externe Überlauf bewirkt, dass im Falle einer Vollerfüllung der Zisterne tendenziell stärker belastetes Niederschlagswasser in der Zisterne zurückgehalten wird und nur der tendenziell weniger belastete Teil zum Überlauf kommt. Der externe Überlauf wird vor allem in Gebieten mit Trennkanalisation empfohlen, in denen der Niederschlagsabfluss ohne weitere Behandlung in den Vorfluter eingeleitet wird.

Norm/Regelwerk	Titel
DIN 1989 (2002)	Regenwassernutzungsanlagen
DIN 1986-30 (2012)	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke
DIN EN 16941-1 (2018)	Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser – Teil1: Anlagen für die Verwendung von Regenwasser
fbr Hinweisblatt H101 (fbr 2016)	Kombination der Regenwassernutzung mit der Regenwasserversickerung
FLL (2015)	FLL-Bewässerungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen
DWA-M 227 / fbr-Hinweisblatt H 201 (inhaltsgleich)	Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

Aufwand und Kosten

Zisternen und die zugehörigen Anlagenteile müssen regelmäßig gewartet werden (DIN 1989, 2002). Zu den Aufgaben für Unterhaltung und Pflege gehören die Überprüfung der Pumpenanlagen und Rohrleitungen, die Entschlammung des Sammelbehälters bei Bedarf und die Säuberung der Abtrennung für Blätter.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/E		€/(E*a)
min	210	min	21
max	1420	max	42
üblich	797	üblich	27

Weitergehende Hinweise

Bei der Umsetzung von Regenwassernutzungsanlagen sind die hygienischen Anforderungen entsprechend EU-Badegewässerrichtlinie (EU 2006) zu berücksichtigen.

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Regen- bzw. Grauwassernutzung zur Bewässerung urbaner Vegetation fördert die Verdunstung 	
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination optimiert die Bedarfsdeckung 	
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Die Maßnahme kann im Rahmen einer Ausschreibung (z.B. für öffentliche Gebäude) mitberücksichtigt werden 	
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Deckung des anfallenden Strombedarfes 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenkonkurrenz für weitere Gebäudetechnik

Ökobilanzielle Bewertung

Für diese spezielle Maßnahme steht eine detaillierte ökobilanzielle Bewertung noch aus. Jedoch ist sowohl die Regenwasser- als auch die Grauwassernutzung zur Reduktion des Wasserfußabdrucks geeignet und kann somit vor allem in wasserknappen Gebieten zu einer Entlastung beitragen.

Kombinationsmöglichkeiten

[Fassadenbegrünung](#)

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Bewässerung](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Senkung der Betriebskosten
Rückhalt von Regenwasser und Senkung des Abflusses
Reduzierung des Trink- und Abwasseraufkommens
Optimierung der Bedarfsdeckung
Stärkung des Umweltbewusstseins
Zisternen sind oftmals unterirdisch, daher keine Beeinflussung privater/ öffentlicher Plätze
Geringer Platzbedarf für Grauwasserspeicher, da das Wasser täglich anfällt
Grauwasserrecycling: hohe Bewertungen bei „Zertifizierungen für nachhaltige Gebäude“, Steigerung des Immobilienwertes
Möglichkeit der leichten bis moderaten Reduzierung der stofflichen Belastung der Oberflächengewässer

Nachteile

Teilweise hohe Investitions- und Wartungskosten
Erhöhter Ressourcenverbrauch aufgrund eines zweiten Leitungsnetzes und weiterer Gebäudetechnik

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Christophorus Haus	Stadtl-Paura	Österreich	<ul style="list-style-type: none"> • Passivhaus als Verwaltungs- und Betriebsgebäude • Fertigstellung: 2003 • Gesamtnutzungsfläche: 2.000 m² • Mit vielen Auszeichnungen prämiert • Senkung des Trinkwasserverbrauchs und geringere Investitions- und Betriebskosten durch kombinierte Nutzung von Regenwasser und aufbereitetem Grauwasser für Brauchwasserzwecke • Grauwasser wird mit Bodenfilter gereinigt

Wein- und Wohnresort Gutshof Pöllau	Markt Hartmansdorf	Österreich	<ul style="list-style-type: none">• Wohnanlage (11.000 m²) mit 8 Mietwohnungen, 1 Veranstaltungssaal, mehrere Büroräume• Grauwasser wird aufbereitet und für die Toilettenspülung genutzt• Sammlung von Regenwasser in Zisternen (zur Bewässerung und für den Betrieb der Waschmaschinen)
-------------------------------------	--------------------	------------	--

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Entsiegelung (Teildurchlässige Flächenbeläge)

KURZINFORMATION

Um den Wasserhaushalt in urbanen Gebieten zu verbessern, können Entsiegelungsmaßnahmen umgesetzt werden. Die klassische Entsiegelung sieht den vollständigen Rückbau von (nicht genutzten) Flächenbelägen vor. Werden auch weiterhin Anforderungen an die Tragfähigkeit gestellt (z.B. Parkplätze), kann der Einbau von teildurchlässigen Flächenbelägen ein guter Kompromiss sein.

Umsetzungsbeispiel

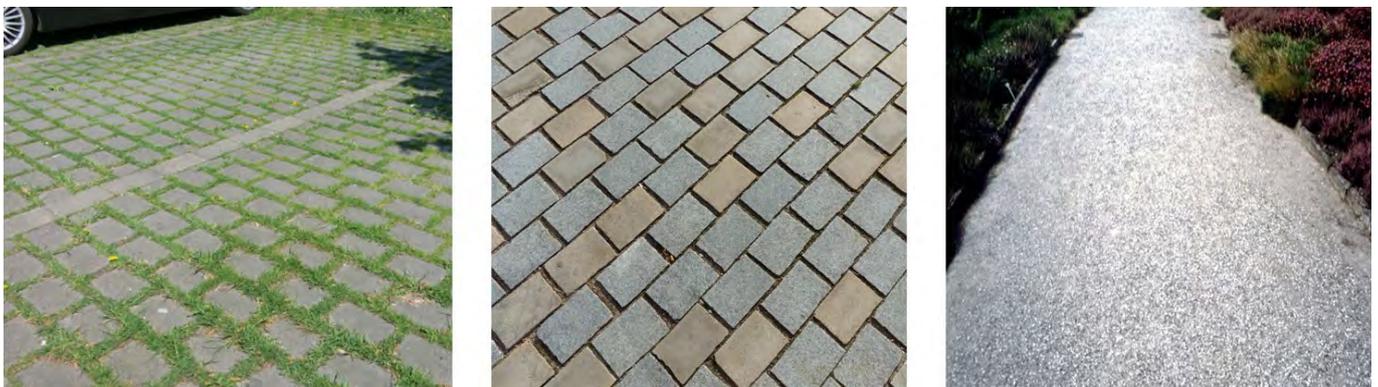


Abb. 1: Unterschiedliche teildurchlässige Flächenbeläge (Bildquelle: Mathias UHL)

Ressource

Niederschlagswasser Schmutzwasser Baustoffe Energie Fläche

Funktion

Wasser	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme

Brennstoffe

Fläche

Klimaanpassung

Gesundheitsschutz

Erhalt d. Grunddaseinsfunktion

Naturschutz

Klimaschutz

Legende:

kein Wirkpotential

Wirkpotential vorhanden

geringes Wirkpotential

mittleres Wirkpotential

hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

Gebäude

Grundstück

Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW

Min: 20

Stand der Wissenschaft und Technik

Max: 60

Stand der Technik

Üblich: 25

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

kein zusätzlicher Flächenbedarf

DETAILINFORMATIONEN

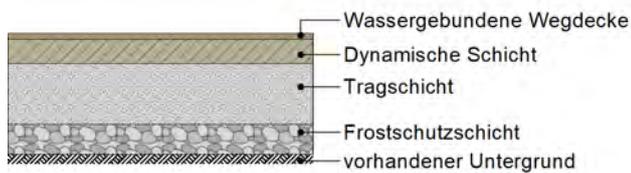
Funktionsbeschreibung und Aufbau

Generell sollte bei Planungen die Versiegelung der Flächen auf ein Minimum reduziert werden und im Bestand verringert werden. Die Wirkung einer Entsiegelungsmaßnahme auf das Abflussverhalten einer Fläche hängt entscheidend von der Art der Entsiegelung, der Bodenbeschaffenheit und der Geländeneigung ab. Der Aufbau von teilversiegelten Oberflächen orientiert sich in der Regel an einem Standardwegeaufbau, bestehend aus Froschschuttschicht, Tragschicht, dynamischer Schicht bzw. Fugenmaterial, sowie dem Bodenbelag in den verschiedenen oben genannten Ausführungen.

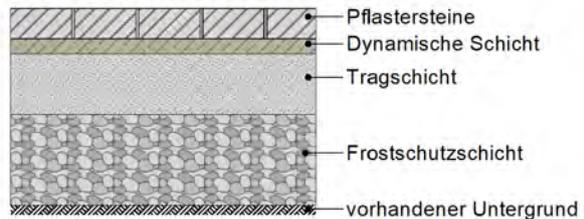
Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen als Ersatz für vollversiegelte Flächen (z.B. Asphalt) werden im Straßen- und Wegebau zur Verringerung der Flächenversiegelung und des Niederschlagsabflusses eingesetzt. Durch die alternativen Beläge (z.B. wassergebundene Deckschichten, Sickerpflaster, Fugenpflaster oder Rasengittersteine) kann die natürliche Bodenfunktion zumindest partiell wiederhergestellt werden. Teilversiegelte Flächen wie wenig befahrene Straßen, Parkplätze oder Gehwege können so zur Entlastung der Kanalisation und zur lokalen Anreicherung des Grundwassers beitragen.

Systemskizze

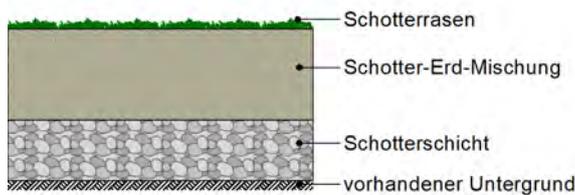
Wassergebundene Decke



Pflaster mit Fugenanteil



Schotterrasen



teildurchlässige Beläge

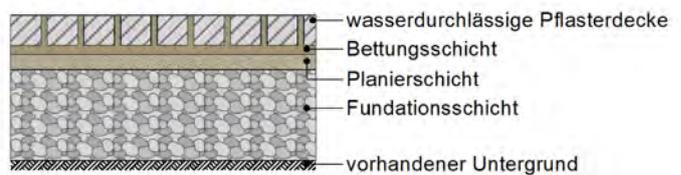


Abb. 2: Aufbauten unterschiedlicher teildurchlässiger Flächenbeläge (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Wasserdurchlässige Deckschichten werden nach DWA-A 138 nicht als eigenständige Maßnahme zur Versickerung angesehen, da die Möglichkeiten zum Anschluss von versiegelter Flächen begrenzt sind, und die Sickerleistung durch die Poren einem nicht kalkulierbaren Alterungsprozess unterliegt. Es sind die Vorgaben an die stoffliche Belastung des zu versickernden Niederschlagwassers nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998), Grundwasserverordnung (GrwV 2010) und der Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser (DWA-A 102) zu beachten.

Um eine ordnungsgemäße Entwässerung einer Verkehrsfläche mit wasserdurchlässigen Pflasterbelägen, aber ohne Straßenabläufe, sicherzustellen, muss aus Gründen der Verkehrssicherheit eine Aufnahmefähigkeit von 270 L/(s,ha) bzw. $2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s dauerhaft gewährleistet sein (FGSV 1998). Da nur die Pflasterfuge die effektive Versickerungsfläche darstellt, muss die Versickerungsfähigkeit des Materials in den Fugen bzw. des Unterbaus deutlich höher liegen.

Aufwand und Kosten

Vollständig entsiegelte Flächen werden bepflanzt und benötigen artgerechte Pflege (vgl. Steckbrief „Stadtgrün“).

Teilversiegelte Flächen haben vergleichbare Unterhaltskosten wie versiegelte Flächen, z.B. für Straßenreinigung. Darüber hinaus entstehen im Regelfall keine zusätzlichen Kosten. Pflasterfugen mit stark zurück gegangener Versickerungsleistung sind zu reinigen. Dies kann z.B. durch Absaugen des Splitts aus den Fugen und ersetzen mit frischem Splitt geschehen. Für versickerungsfähige Materialien stehen spezielle Pflasterreinigungsmaschinen zur Verfügung, die unter Einsatz von Wasser und Hilfsstoffen die Schmutzbelastung in der Tiefe der Poren reduziert und die Versickerungsleistung weitgehend wiederherstellt. Die Wiederherstellung der vollen Infiltrationsleistung ist jedoch auch dann nicht immer möglich.

Beim kompletten Rückbau der versiegelten Fläche und der Etablierung von beispielsweise einer

Grünfläche, sind der Aufwand und die Pflegekosten von urbaner Vegetation zu übernehmen.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²		€/(m ² *a)				
min	28* ¹	48* ²	3* ³	30* ⁴	6* ⁵	min	0,25* ¹	0,25* ²	0,10* ³	0,25* ⁴	0,05* ⁵
max	55* ¹	195* ²	110* ³	127* ⁴	40* ⁵	max	1,75* ¹	1,75* ²	1,75* ³	1,75* ⁴	1,75* ⁵
üblich	42* ¹	100* ²	41* ³	61* ⁴	21* ⁵	üblich	1,00* ¹	1,00* ²	0,25* ³	1,00* ⁴	0,38* ⁵

Hinweis:

*¹ Wassergebundene Decke

*² Pflaster

*³ Schotterrasen/ Rasengitter

*⁴ Teildurchlässige Beläge

*⁵ Komplette Entsiegelung

Weitergehende Hinweise

Die Umsetzung von Entsiegelungsmaßnahmen ist nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiWV 2001).

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Städtisches Grün kann gefördert werden • Förderung der Verdunstung durch Bewässerung urbaner Vegetation 	
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung mit Grauwasser möglich 	
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Anfallende Abbruchmaterialien können in den Stoffkreislauf rückgeführt werden • Die Maßnahme kann im Rahmen einer Ausschreibung (z.B. für öffentliche Gebäude) mitberücksichtigt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlicher Baustoffbedarf

Fläche

- Evtl. neue Nutzungen bei vollständiger Entsiegelung
- Steigerung der Biodiversität
- Vollständige Entsiegelung nur bei Flächen ohne Verkehrsnutzung möglich
- Ggf. Flächenkonkurrenz möglich

Ökobilanzielle Bewertung

Die Entsiegelung von Flächen hat vor allem durch die Nutzung von Baumaschinen, die mit fossilen Kraftstoffen betrieben werden, als auch durch den Abtransport von Abfallströmen eine ökobilanziell messbare Umweltauswirkung.

Kombinationsmöglichkeiten

[Stadtgrün](#)

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Mulden- und Flächenversickerung](#)

[Schachtversickerung](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile**Vorteile**

Förderung der Grundwasserneubildung

Reduzierung des Abflusses

Steigerung der Verdunstung

Nachteile

Boden muss eine geeignete Durchlässigkeit aufweisen

Nur für Flächen mit geringer Nutzung, geringem Verschmutzungspotential und tragfähigem oder nicht bindigem Untergrund

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Ehemaliger Forellenhof Roter	Berlin-Spandau	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • 4.000 m² versiegelte Fläche wird entsiegelt • Wird öffentliches Erholungsgebiet • Durchführung: April bis August 2020
Bolzplatz an der Gorbitzer Kräutersiedlung	Dresden	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Ungenutzter Bolzplatz wird zurückgebaut • Es entsteht eine Wiesenfläche • Durchführung: 2019
Düsseldorfer Schulhöfe	Düsseldorf	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau der versiegelten Höfe an mehreren Düsseldorfer Schulhöfen • Umwandlung in Insektenwiesen und naturnahe Flächen • Durchführung: 2020

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Mulden- und Flächenversickerung

KURZINFORMATION

Eine gängige Form der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ist die Mulden- oder Flächenversickerung. Hier werden die Abflüsse von versiegelten Flächen (Dächer, Straßen, Parkplätze etc.) zur oberflächigen Versickerung in Mulden und auf Flächen eingeleitet und vormalig der Grundwasserneubildung zugeführt.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Flächen-(li.) und Muldenversickerung (re.) (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | |
|--|--|
| <p>Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss <p>Baustoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling | <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung <input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung |
|--|--|

Energie

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung | <input type="checkbox"/> Energieverteilung |
| <input type="checkbox"/> Energieverbrauch | <input type="checkbox"/> Energiespeicherung |
| <input type="checkbox"/> Elektrizität | <input type="checkbox"/> Wärme |
| <input type="checkbox"/> Brennstoffe | |

Fläche

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz |
| <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion | <input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz |
| <input type="checkbox"/> Klimaschutz | |

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: 20	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,2 ¹ bzw. >0,5 ² m ² /m ² A ₀	Max: 80	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 25	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:*¹ Muldenversickerung*² Flächenversickerung**DETAILINFORMATIONEN****Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Bei der Mulden- und Flächenversickerung wird das Niederschlagswasser von Dach-, Hof- und Verkehrsflächen über die belebte Bodenzone einer angrenzenden, natürlichen Fläche versickert. Entscheidend für die Wahl zwischen den beiden Verfahren ist der Bedarf an oberirdischem Retentionsraum. Dieser Bedarf ergibt sich aus der Menge des anfallenden Niederschlagswassers, der Raumverfügbarkeit und der Versickerungsfähigkeit des Bodens. Der Boden unterhalb von Mulden- und Flächenversickerungen sollte daher gut durchlässig sein. Durch die Oberbodenpassage erfolgt eine Reinigung des Niederschlagswassers vor der Infiltration ins Grundwasser.

Bei der **Muldenversickerung** wird das Niederschlagswasser vor der Versickerung kurzzeitig zwischengespeichert. Die Entleerung der Mulde erfolgt durch Versickerung und Verdunstung.

Erlaubt der anstehende Boden nicht die vollständige Versickerung innerhalb von 24 Stunden kann das Verfahren mit unterliegenden Rigolen kombiniert werden.

Die **Flächenversickerung** erfolgt in der Regel durch bewachsenen Boden auf Rasenflächen oder unbefestigten Randstreifen von undurchlässigen oder teildurchlässigen Terrassen-, Hof- und Verkehrsflächen.

Systemskizze

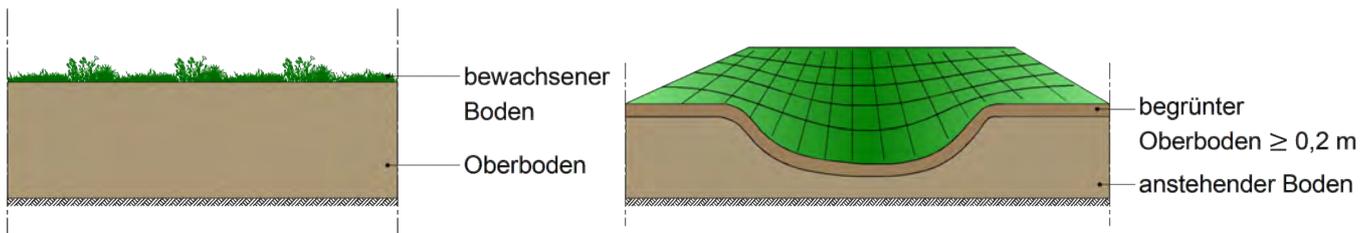


Abb. 2: Aufbau einer Flächen-(li.) und Muldenversickerung (re.) (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Die Bemessung einer Mulde oder Versickerungsfläche erfolgt nach DWA-A 138 (2005) bzw. zukünftig DWA-A 138-1 (Gelbdruck) über das sogenannte vereinfachte Verfahren oder geeignete Langzeitsimulationen. Für Mulden sind Tiefen zwischen 10 und 30 cm üblich, um die Entleerungsdauer gering zu halten (< 24 h). Der Boden der Mulde sollte 20-30 cm mächtig sein, und einen humosen Anteil von 1-3 Masse-% besitzen. Erfüllt der gewachsene Boden diese Bedingungen nicht, ist eine entsprechende Mutterbodenschicht aufzutragen und zu profilieren. Vorgaben für die Mächtigkeit der belebten Bodenzone ergeben sich auch aus dem Verschmutzungsgrad Niederschlagswassers (DWA-A 102). Beim Bau der Mulden ist die sorgfältige Ausarbeitung einer waagerechten Sohle wichtig, damit besonders bei kleineren Regenereignissen keine ungleichmäßige Verteilung des Wassers auf der Sohle stattfindet. Der Böschungsbereich sollte möglichst flach sein (Böschungsverhältnis 1:1,5 oder flacher). Dies dient auch der optischen Integration in die Freiflächen.

Norm/Regelwerk	Titel
DWA-A 138 (2008)	Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
DWA-A 138-1 (Gelbdruck)	Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb
DWA-A 102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer
FLL-Broschüre (2005)	Versickerung und Wasserrückhaltung

Aufwand und Kosten

Die Vegetationspflege (Rasen, Stauden, Gehölze) verhält sich entsprechend des sonst üblichen

Aufwandes für Grünflächen. Wichtig ist das Freihalten der Versickerungsfläche und der Zuläufe von Laub u.ä. Bei Nachlassen der Versickerungsleistung sollte der Rasen vertikutiert werden. Andere Unterhaltungsmaßnahmen, wie z.B. Straßenreinigung können ebenfalls positive Effekte für den langfristigen Anlagenbetrieb bewirken.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/((m ² *A _{b,a}))	€/((m ² *A _{b,a}))		€/((m ² *a))	€/((m ² *a))
min	1,25* ¹	1,00* ²	min	0,05* ¹	0,05* ²
max	52* ¹	10* ²	max	1,75* ¹	1,75* ²
üblich	17* ¹	10* ²	üblich	0,50* ¹	0,38* ²

Hinweis:

*¹ Flächenversickerung

*² Muldenversickerung

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
k _f -Wert Mulde	• 1 x 10 ⁻⁴ - 2 x 10 ⁻⁶ m/s
k _f -Wert über Mulde	• 1 x 10 ⁻⁴ m/s
k _f -Wert unter Mulde	• 1 x 10 ⁻⁵ m/s
k _f -Wert Flächenversickerung	• 1 x 10 ⁻⁴ - 1 x 10 ⁻⁵ m/s
Umsetzung	• nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (Berliner FreiwV 2001)
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden
Abstand zu Gebäuden	• 1,5-fache der Kellertiefe als Mindestabstand, um Vernässungsschäden vorzubeugen

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität • Förderung der Verdunstung und Grundwasserneubildung durch Einleitung der Dachabflüsse • Kombination in Multifunktionalen Rückhalteräumen 	
Baustoffe		<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Nutzungsdichte • Förderung der Biodiversität • Förderung der Erlebbarkeit und Lebensqualität durch Schaffung grüner Elemente 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur für Flächen mit geringer Nutzung und geringem Verschmutzungspotential • Ggf. Flächenkonkurrenz

Ökobilanzielle Bewertung

Die Flächen und Muldenversickerung hat eine vergleichsweise geringe Umweltauswirkung, da wenig Material oder Bauprozesse benötigt werden. Dagegen weist sie laut einer Ökobilanz von Sommer (2015) im Vergleich mit anderen Maßnahmen einen erhöhten Flächenverbrauch pro Versickerungsleistung auf, welcher in Städten eine wertvolle Ressource darstellt.

Literaturstellen

Sommer, J., 2015. Vergleichende Ökobilanzierung verschiedener Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Technische Universität Braunschweig.

Kombinationsmöglichkeiten

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Förderung der Grundwasserneubildung	Boden muss eine geeignete Durchlässigkeit aufweisen
Stoffliche und hydraulische Entlastung der Oberflächengewässer	Nur für Flächen mit geringer Nutzung, geringem Verschmutzungspotential und tragfähigem oder bindigem Untergrund
Reduzierung des Abflusses	Kein zusätzlicher Nutzen auf Gebäudeebene
Verbesserung des Stadtklimas (Verdunstungsleistung und geringere Wärmekapazität als asphaltierte Fläche)	
Erhöhung der biologischen Vielfalt (aber abhängig von der Bepflanzung)	
Geringer Ressourcenverbrauch und Kosten	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Grundschule Moorflagen	Hamburg	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung der Außenanlage der Grundschule Moorflagen, Hamburg (2014) • Fläche: 2,1 ha • Erneuerung des Regen- und Schmutzwassersystems • anfallendes Niederschlagswasser versickert über Flächen auf dem Gelände

Flensburg-Fruerlund	Flensburg-Fruerlund	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Quartiers Flensburg-Fruerlund • Realisierung: 2009 bis 2014 • Gebäudenahe Freiflächen als Freizeit- und Begegnungsort und Möglichkeit zur Versickerung großer Teile des Regenwassers
Scharnhäuser Park	Ostfildern	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Umgestaltung einer ehemaligen amerikanischen Kaserne (140 ha) • Realisierung: 1990 bis 2016 • das gesamte Regenwasser wird in Mulden geleitet • Möglichkeit des Zurückhaltens und Versickerns von Regenwasser wird geschaffen • Gesamter Stadtteil gibt kein Regenwasser mehr in die natürliche Vorflut ab

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Schachtversickerung

KURZINFORMATION

Eine Schachtversickerung ist eine Form der unterirdischen Versickerung. Die Versickerung erfolgt unterirdisch ohne Durchsickerung einer Oberbodenschicht. Es ist sicherzustellen, dass nur Oberflächenabfluss von gering verschmutzten Flächen versickert, da die reinigende Funktion des Oberbodens entfällt.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Umsetzung einer Schachtversickerung in einem Wohngebiet (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | |
|---|---|
| <p>Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| <p>Baustoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung |

Energie

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung | <input type="checkbox"/> Energieverteilung |
| <input type="checkbox"/> Energieverbrauch | <input type="checkbox"/> Energiespeicherung |
| <input type="checkbox"/> Elektrizität | <input type="checkbox"/> Wärme |
| <input type="checkbox"/> Brennstoffe | |

Fläche

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz |
| <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion | <input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz |
| <input type="checkbox"/> Klimaschutz | |

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | |
|-------------------------|------------|---|
| k.A. m ² /EW | Min: 25 | <input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: 40 | <input type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: 60 | <input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

Hinweis:

Kein oberirdischer Flächenbedarf (außer Revisionsschächte)

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Bei der Schachtversickerung wird Niederschlagswasser unterirdisch zwischengespeichert und zur Versickerung gebracht. Da die unterirdische Versickerung keine signifikante Reinigungswirkung aufweist, dürfen in der Regel nur Flächen mit geringer Verschmutzung, z.B. von Gründächern oder Dächern ohne Verwendung von unbeschichteten Metallen, angeschlossen werden. Für andere Flächen ist eine technische Vorbehandlung (Absetzschacht, Filterkatuschen, etc.) vorzusehen.

Unbelastetes Regenwasser wird unterirdisch in einen Sickerschacht aus Beton oder Kunststoff eingeleitet, kurzzeitig zwischengespeichert und versickert. Die Versickerung erfolgt am Boden und seitlich durch perforierte Sickerringe im umgebenden Kiesbereich des Schachtes. Der punktuelle Charakter von Schachtversickerungen erlaubt in der Regel keine Reinigung des Niederschlagswassers durch eine Bodenpassage. Eine gedrosselte Ableitung ist in der Regel nicht vorhanden.

Systemskizze

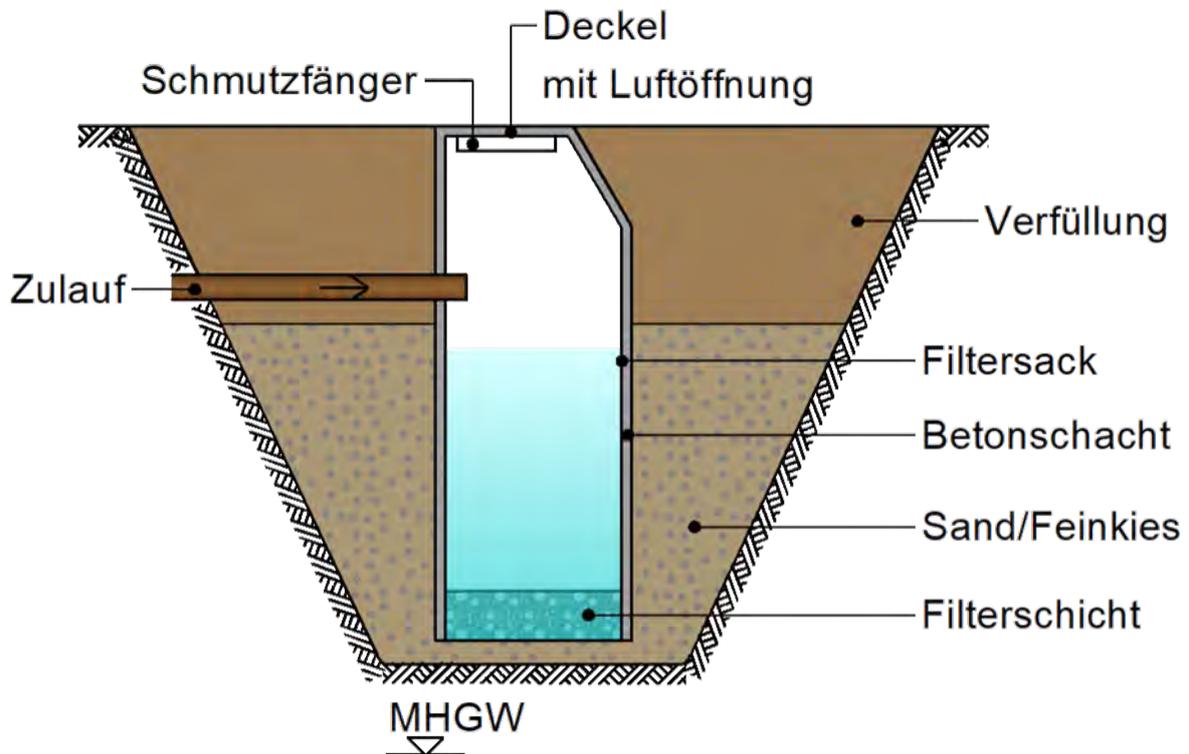


Abb. 2: Aufbau einer Schachtversickerung (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Sickerschächte werden nach DWA-A 138 (2005) bzw. zukünftig DWA-A 138-1 (Gelbdruck) auf eine Überstauhäufigkeit von $0,2/a$ bemessen. Versickerungsschächten sollte gemäß des DWA-A 138-1 (Gelbdruck) eine Behandlungsanlage, die nach DWA-M 179 zu bemessen ist, vorgeschaltet werden. Die Entleerung des Schachtes erfolgt über die Durchsickerung einer Filterschicht, die einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f < 1 \times 10^{-3}$ m/s aufweisen muss. Ein Mindestdurchmesser von DN1000 darf nicht unterschritten werden. Der Abstand zwischen Versickerungssohle und Grundwasser muss wie bei Rigolen mindestens 1 m betragen. Aufgrund der Bautiefe der Schachtsysteme ist jedoch in der Regel ein größerer Grundwasserflurabstand erforderlich als bei Rigolen. Es sind die Vorgaben an die stoffliche Belastung des zu versickernden Niederschlagswassers nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998), Grundwasserverordnung (GrwV 2010) und der Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser (DWA-A 102) zu beachten. Sind bei Sickerschächten die Perforationen der Sickerringe oberhalb der Filterschicht angeordnet, muss ein zusätzlicher Filtersack in die Anlagen gehängt werden.

Norm/Regelwerk

Titel

DWA-A 138 (2008)

Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser

DWA-A 138-1 (Gelbdruck)

Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser - Teil 1: Planung, Bau, Betrieb

DWA-A 102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer
DWA-M 179	Empfehlungen für Planung und Betrieb von dezentralen Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung
DIN 4034-1 (2020)	Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen – Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für Abwasserleitungen und -kanäle in Ergänzung zu DIN EN 1917:2003-04

Aufwand und Kosten

Zur Unterhaltung der Sickerschächte gehört die Kontrolle der Filter, Schächte, Zu- und Ableitungen zweimal pro Jahr und die Entfernung von Schmutzstoffen. Wenn die Sickerleistung nachlässt, ist die Kiesschicht an der Sickersohle auszutauschen.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/ (m ² *A _{b,a})		€/ (m ² *a)
min	7	min	0,50
max	35	max	0,75
üblich	19	üblich	0,63

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Filterschicht mit karbonathaltigem Sand ($k_f \leq 10^{-3}$ m/s), ggf. mit Filtersack • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiwV 2001) und nur für Flächen mit geringer Verschmutzung (z.B. Fußwegflächen, nichtmetallische Dachflächen)

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität • Förderung der Verdunstung und Grundwasserneubildung durch Einleitung der Dachabflüsse • Kombination in Multifunktionalen Rückhalteräumen 	
Baustoffe		<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlicher Flächenbedarf notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Flächenkonkurrenz, vor allem bei anderen unterirdischen Anlagen, wie die Zisternen der Regenwassernutzung

Kombinationsmöglichkeiten

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Förderung der Grundwasserneubildung	Kein zusätzlicher Nutzen auf Gebäudeebene
Hydraulische Entlastung der Oberflächengewässer	Kein Effekt auf das Stadtklima, biologische Vielfalt, Freiraumqualität
Reduzierung des Abflusses	Keine Behandlungsfunktion aufgrund fehlender Oberbodenschicht
Geringer Ressourcenverbrauch und Kosten	
Kaum oberirdischer Flächenbedarf	

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Rigolen- und Rohrrigolenversickerung

KURZINFORMATION

Eine Rigolen- bzw. Rohrrigolenversickerung ist eine Form der unterirdischen Versickerung. Die Versickerung erfolgt unterirdisch ohne Durchsickerung einer Oberbodenschicht. Die Rigolen bieten durch zusätzliche Rückhalteräume, die zur Retention genutzt werden können. Es ist sicherzustellen, dass nur Oberflächenabfluss von gering verschmutzten Flächen versickert, da die reinigende Funktion des Oberbodens entfällt.

Umsetzungsbeispiel

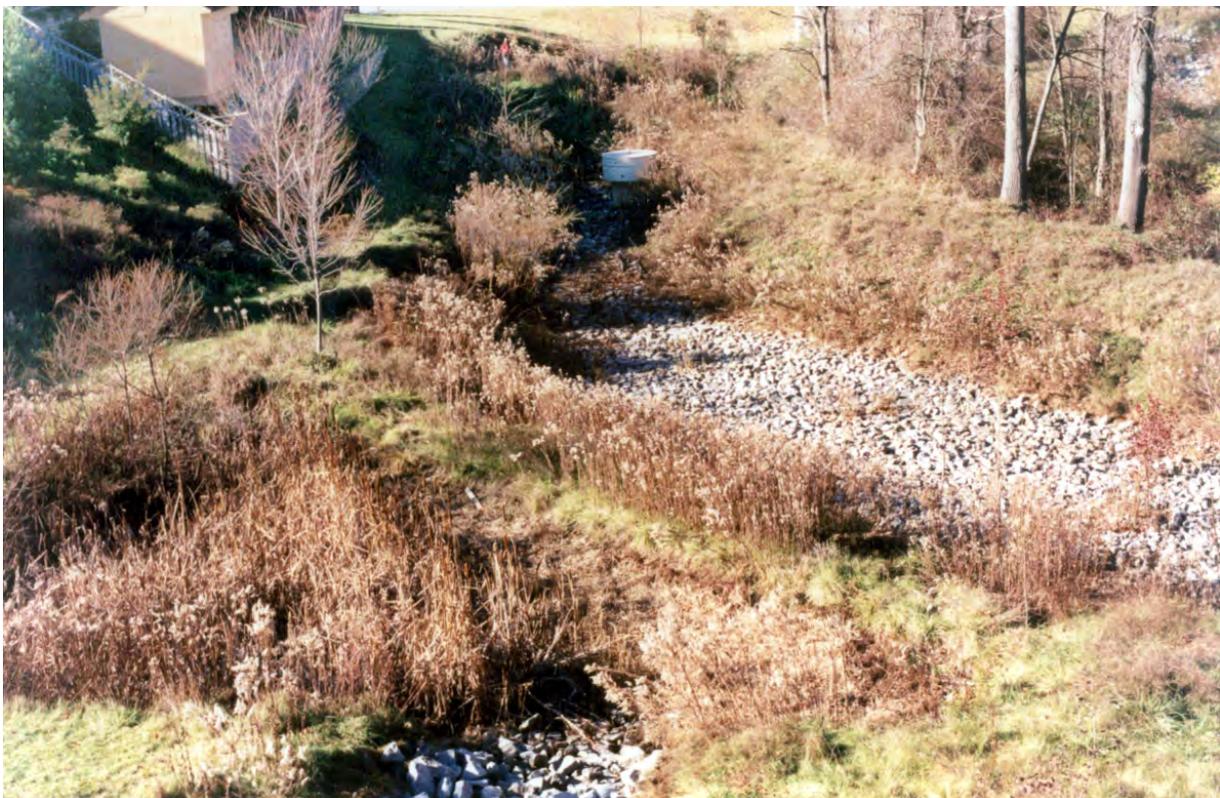


Abb. 1: Umsetzung einer Rigolenversickerung mit einem offenen Kiesbeet (Bildquelle: Moreau1, Public domain, via Wikimedia Commons)

Ressource

Niederschlagswasser Schmutzwasser Baustoffe Energie Fläche

Funktion

Wasser

Förderung Verdunstung
 Förderung Behandlung
 Nährstoffrückgewinnung

Förderung Grundwasserneubildung
 Trinkwassereinsparung
 Überflutungsvorsorge

	<input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: 20	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: 40	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 30	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:
Kein oberirdischer Flächenbedarf (außer Revisionsschächte)

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Bei der Rigolenversickerung wird Niederschlagswasser unterirdisch zwischengespeichert und zur Versickerung gebracht. Da die unterirdische Versickerung keine signifikante Reinigungswirkung aufweist, dürfen in der Regel nur Flächen mit geringer Verschmutzung, z.B. von Gründächern oder Dächern ohne Verwendung von unbeschichteten Metallen, angeschlossen werden. Für andere Flächen ist eine technische Vorbehandlung (Absetzschacht, Filterkatuschen, etc.) vorzusehen.

Das Niederschlagswasser wird unterirdisch in einen mit Kies oder Kunststoffblöcken gefüllten Graben (Rigole) bzw. einen in diesem Material gebetteten perforierten Rohrstrang (Rohrrigole) geleitet. Durch die unterirdische Versickerung mit kurzzeitiger Speicherung können Rigolen auch bei schlechter durchlässigen Böden eingesetzt werden. Durch die unterirdische Bauweise wird das Niederschlagswasser nicht über eine belebte Bodenzone gereinigt. Da die Versickerungsebene im Vergleich zu Mulden tiefer liegt (Einbautiefe: 1 - 1,4 m), muss der Grundwasserflurabstand entsprechend groß sein. Zum Schutz vor Verschlämzung und Materialeintrag wird die Rigole von außen mit einem Geotextil bzw. Filtervlies ummantelt. Der Zulauf ist in der Regel mit einem Grobstofffilter für Laub, Äste, etc. ausgestattet. Bei teilweiser Ableitung in den Kanal erfolgt die verzögerte Entleerung des Speicherraumes über ein Dränrohr, an das ein Drosselschacht mit Anstau und Drosselorgan (z.B. Lochblende) angeschlossen ist. Die Anstauhöhe entspricht der Rigolenoberkante und wird durch das Überlaufrohr im Schacht bestimmt.

Systemskizze

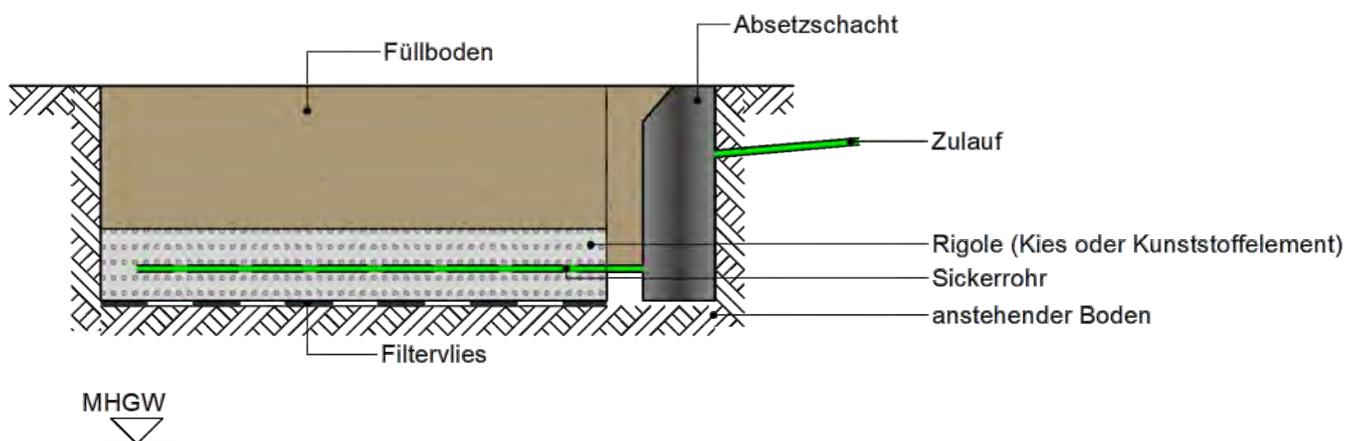


Abb. 2: Aufbau einer Rigolen- und Rohrrigolenversickerung (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Die Bemessung einer Rigole erfolgt nach dem vereinfachten Verfahren des DWA-A 138 (2005) bzw. zukünftig DWA-A 138-1 (Gelbdruck) oder über eine Langzeitsimulation. Rigolen sollte gemäß des DWA-A 138-1 (Gelbdruck) eine Behandlungsanlage, die nach DWA-M 179 zu bemessen ist, vorgeschaltet werden. Die einzuhaltende Überstauhäufigkeit liegt bei $0,2/a$. Die Größe der Speicherräume hängt von der Durchlässigkeit des Bodens und der ggf. abzuführenden Drosselabflussmenge ab. Außerdem hängt die Gesamtgröße vom Füllmaterial ab. Während Kiesfüllungen einen Porenanteil von ca. 35% haben, können in Füllkörperrigolen aus Kunststoff 95% des Volumens zur Retention genutzt werden. Rigolen haben aufgrund der größerflächigen Versickerung eine höhere Gesamtversickerungsleistung (pro Zeit) als Schachtversickerungen. In der konstruktiven Gestaltung sind Rigolen deutlich flexibler. Somit können sie z.B. auch bei geringen Grundwasserflurabständen zum Einsatz kommen. Wichtig ist ein Abstand zwischen Rigolensohle und Grundwasser von mindestens 1 m.

Norm/Regelwerk	Titel
DWA-A 138 (2008)	Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
DWA-A 138-1 (Gelbdruck)	Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb
DWA-A 102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer
DWA-M 511 (2017)	Filtern mit Geokunststoffen
MGeoK E 2016	FGSV-Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus
DWA-M 179	Empfehlungen für Planung und Betrieb von dezentralen Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung
DIN 4034-1 (2020)	Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen – Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für Abwasserleitungen und -kanäle in Ergänzung zu DIN EN 1917:2003-04

Aufwand und Kosten

Die Unterhaltung der Rigolen ist bei ausreichender Vorreinigung (Bodenpassage oder technische Anlage) weitgehend wartungsfrei. Eine Kontrolle der Schächte auf Verunreinigung/Verstopfung ebenso wie eine Beräumung des Systems von Schmutzstoffen sollte in regelmäßigen Abständen (mind. 1 mal pro Jahr) erfolgen. Gegebenenfalls sind die Schächte zu reinigen und das Drainrohrsystem zu spülen. Vor diesem Hintergrund sollte bei Drainrohren einen Rohrdurchmesser von mindestens DN 150 eingehalten werden.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ³		€/(m ² *a)
min	69	min	0,02
max	346	max	15,62
üblich	115	üblich	2,00

Weitergehende Hinweise

Parameter

Wert

Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiwV 2001) Nur für Flächen mit geringer Verschmutzung (z.B. Fußwegflächen, nichtmetallische Dachflächen)
-----------	---

Materialien

- Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden
- Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität • Förderung der Verdunstung und Grundwasserneubildung durch Einleitung der Dachabflüsse • Kombination in Multifunktionalen Rückhalteräumen 	
Baustoffe		<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen
Fläche		<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Flächenkonkurrenz, vor allem bei anderen unterirdischen Anlagen, wie die Zisternen der Regenwassernutzung

Kombinationsmöglichkeiten[Stadtgrün](#)[Gründach](#)[Dachgarten](#)[Blue roof](#)[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)[Multifunktionale Rückhalteräume](#)[Regengarten](#)[Baumrigole](#)[Multifunktionale Rückhalteräume](#)[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)[Blockheizkraftwerke](#)[Photovoltaikanlagen](#)[Kleinwindkraftanlagen](#)[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Förderung der Grundwasserneubildung	Kein zusätzlicher Nutzen auf Gebäudeebene
Stoffliche und hydraulische Entlastung der Oberflächengewässer	Kein Effekt auf das Stadtklima, biologische Vielfalt, Freiraumqualität
Reduzierung des Abflusses	
Geringer Ressourcenverbrauch und Kosten	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Grundschule Moorflagen	Hamburg	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung der Außenanlage der Grundschule Moorflagen, Hamburg (2014) • Fläche: 2,1 ha • Erneuerung des Regen- und Schmutzwassersystems • anfallendes Niederschlagswasser versickert über Rigolen auf dem Gelände
Küppersbusch-Siedlung	Gelsenkirchen	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • früheres Werksgelände von Küppersbusch in Gelsenkirchen • Fläche: 7,5 ha • Realisierung einer innerstädtischen Siedlung • Hochgelegte Wasserrinnen leiten häusliches Regenwasser in die Mulden-Rigolen-Versickerung

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Mulden-Rigolen-Element/-System

KURZINFORMATION

Mulden-Rigolen-Elemente bzw. -Systeme stellen eine Kombination aus Mulden mit unterhalb liegenden Rigolen dar. Sind die einzelnen Elemente mit Abflussvorrichtungen verbunden, handelt es sich um ein Mulden-Rigolen-System.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Mulden-Rigolen-System in einem Wohngebiet (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser Schmutzwasser Baustoffe Energie Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|---|---|
| Wasser | <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| | <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| | <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |

- | | | |
|----------------|---|---|
| | <input type="checkbox"/> Verwertung | <input type="checkbox"/> Beseitigung |
| | <input type="checkbox"/> Recycling | |
| Energie | <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung | <input type="checkbox"/> Energieverteilung |
| | <input type="checkbox"/> Energieverbrauch | <input type="checkbox"/> Energiespeicherung |
| | <input type="checkbox"/> Elektrizität | <input type="checkbox"/> Wärme |
| | <input type="checkbox"/> Brennstoffe | |
| Fläche | <input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz |
| | <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion | <input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz |
| | <input type="checkbox"/> Klimaschutz | |

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	15	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,1 m ² /m ² A _v	Max:	30	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Kombinierte Versickerungssysteme kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn die Flächenverfügbarkeit und/oder das Versickerungspotenzial der Böden gering ist. Die Kombination verschiedener Maßnahmen erlaubt es, die Prozesse der Versickerung durch den Oberboden und die nachgeschaltete Zwischenspeicherung von Regenwasser in einer technischen Anlage nachzubilden. Kombinierte Systeme zeichnen sich teilweise auch durch alternative Bepflanzungen aus (Sträucher, Bäume), die zu einer höheren Verdunstungsleistung der Anlage führen.

Beim Mulden-Rigolen-Element wird eine begrünte Mulde mit einer Rigole etabliert. Das Niederschlagswasser wird in der Mulde zurückgehalten und versickert zur weiteren Zwischenspeicherung in die Rigole. Der Muldenboden besteht aus gut durchlässigem Untergrund, während der anstehende Untergrund unterhalb der Rigole nur noch über geringe Durchlässigkeiten verfügt.

Beim Mulden-Rigolen-System bietet sowohl die oberirdische Mulde als auch die unterirdische Rigole Speicherraum. In der Regel ermöglicht ein Notüberlauf von der Mulde in die Rigole die Entlastung des oberirdischen Muldenspeichers bei hydraulischer Spitzenlast. Am Ende des Dränrohres der Rigole sorgt ein Drosselorgan für eine gedrosselte Ableitung des nicht versickerten Regenwassers in die Kanalisation. Die Drosselspende wird gemäß der lokalen Gegebenheiten (z.B. natürliche Abflusspende des Vorfluters) festgelegt. Mulden-Rigolen-Systeme haben mit ca. 10% der angeschlossenen Fläche einen geringeren Platzbedarf als reine Flächen- oder Muldenversickerungen und werden typischerweise bei schlecht sickerfähigen Oberböden eingesetzt (k_f -Wert $< 10^{-6}$ m/s, z.B. Lehmböden). In der Regel werden Versickerungsanteile von etwa 50% erreicht, während ca. 10% verdunsten und ca. 40% gedrosselt in den Kanal abgeleitet werden. Der Muldenkörper sorgt für eine weitgehende Reinigung des Niederschlagswassers. Nach unten gedichtete Ausführungen des Mulden-Rigolen-Systems ermöglichen den Einsatz bei kontaminierten Böden oder bei stärker verschmutzten Niederschlagsabflüssen, wobei der Niederschlagsabfluss gedrosselt fast vollständig in den Kanal abgeleitet wird.

Systemskizze

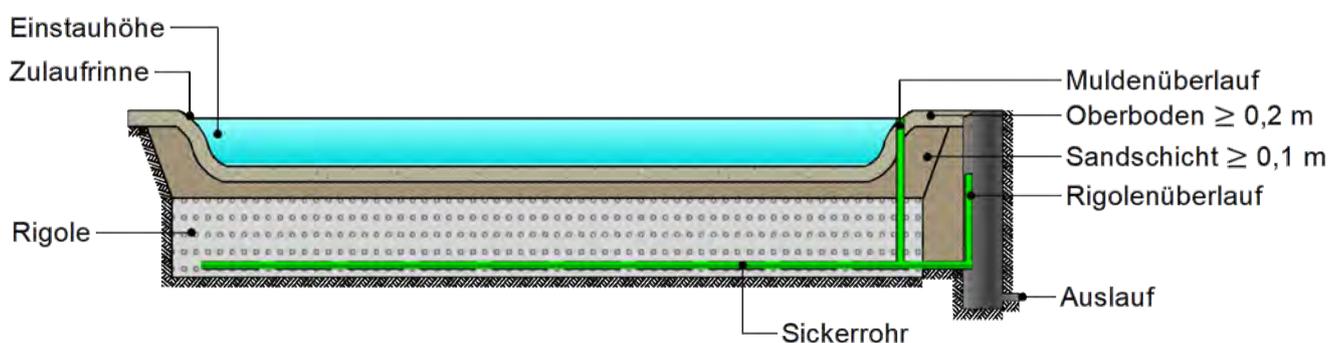


Abb. 2: Aufbau eines Mulden-Rigolen-Systems (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Mulden-Rigolen-Systeme können mit einfachen Verfahren in Anlehnung an DWA-A 138 (2005) (zukünftig DWA-A 138-1 (Gelbdruck)) bzw. DWA-A 117 (2014) vordimensioniert werden. Der Aufbau eines Mulden-Rigolen-Systems beinhaltet folgende Bauteile:

- Mutterbodenschicht (≥ 20 cm) und Kiesschicht (5 cm) zwischen Mulde und Rigole,
- Rigole als mit Kies (Körnung 16/32) gefüllter Speicherkörper und Dränrohr oder Füllkörperrigole mit Kunststoffblöcken,
- für bewachsene Bodenzone k_f -Wert $\geq 1 \times 10^{-5}$ m/s
- Drosselschacht mit Anstau-/Drosselorgan am Ende des Dränrohres,
- Überlauf.

Bei der Planung ist zu beachten, dass Mulden und Rigolen gemäß der Randbedingungen und Vorgaben dimensioniert werden und nicht zwangsweise den gleichen Grundriss einnehmen müssen.

Norm/Regelwerk	Titel
DWA-A 138 (2005)	Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
DWA-A 138-1 (Gelbdruck)	Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb
DWA-A 102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer
FLL-Broschüre (2005)	Versickerung und Wasserrückhaltung
DWA-M 511 (2017)	Filtern mit Geokunststoffen
MGeoK E 2016	FGSV-Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus

Aufwand und Kosten

Für Mulden-Rigolen-Systeme mit einer grasbewachsenen Oberfläche verhält sich die Vegetationspflege entsprechend des sonst üblichen Aufwandes. Wichtig ist das Freihalten der Versickerungsfläche und des Einlaufbereiches von Laub, Sediment und ähnlichen Materialien. Bei Nachlassen der Versickerungsleistung sollte der Rasen vertikutiert werden.

Die Unterhaltung der Rigolen ist bei ausreichender Vorreinigung (Bodenpassage oder technische Anlage) weitgehend wartungsfrei. Eine Kontrolle der Schächte auf Verunreinigung/ Verstopfung ebenso wie eine Entfernung der Schmutzstoffe aus dem System sollte in regelmäßigen Abständen (mind. 1 mal pro Jahr) erfolgen. Gegebenenfalls sind die Schächte zu reinigen und das Drainrohrsystem zu spülen. Vor diesem Hintergrund sollte bei Drainrohren ein Rohrdurchmesser von mindestens DN 150 eingehalten werden.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/ (m ² *A _{b,a})	€/ (m ² *A _{b,a})		€/k.A.	€/ (m ² *a)
min	4* ¹	13* ²	min	k.A.* ¹	0,50* ²
max	45* ¹	90* ²	max	k.A.* ¹	2,00* ²
üblich	21* ¹	28* ²	üblich	k.A.* ¹	0,88* ²

Hinweis:

*¹ Mulden-Rigolen-Element

*² Mulden-Rigolen-System

Weitergehende Hinweise

Die Realisierung von Mulden-Rigolen-Systemen ist nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFriewV 2001).

Parameter	Wert
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität • Förderung der Verdunstung und Grundwasserneubildung durch Einleitung der Dachabflüsse • Kombination in Multifunktionalen Rückhalteräumen 	
Baustoffe		<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Nutzungsdichte • Förderung der Biodiversität • Förderung der Erlebbarkeit und Lebensqualität durch Schaffung grüner Elemente 	<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Flächenkonkurrenz

Ökobilanzielle Bewertung

Die ökobilanzielle Bewertung des Mulden- und Rigolenelements fällt gemischt aus. Die größten Auswirkungen hat der Verbau von Kies und Boden (Sommer 2015). Daher sollte auf möglichst kurze Transportwege und recycelte Baustoffe geachtet werden.

Literaturstellen

Sommer, J., 2015. Vergleichende Ökobilanzierung verschiedener Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Technische Universität Braunschweig.

Kombinationsmöglichkeiten

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)[Multifunktionale Rückhalteräume](#)[Regengarten](#)[Baumrigole](#)[Multifunktionale Rückhalteräume](#)[Grauwasseraufbereitung](#)[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)[Blockheizkraftwerke](#)[Photovoltaikanlagen](#)[Kleinwindkraftanlagen](#)[Kleinstwasserkraftanlagen](#)[Smart Grids](#)[Demand Response](#)[Smart Grids](#)[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Geeignet auch bei mäßiger Sickerfähigkeit des Bodens

Erhöhung der Freiraumqualität

Verbesserung des Stadtklimas

Verbesserung der biologischen Vielfalt

Stoffliche und hydraulische Entlastung der Oberflächengewässer

Reduzierung des Abflusses

Geringer Ressourcenverbrauch und Kosten

Förderung der Grundwasserneubildung

Nachteile

Kein zusätzlicher Nutzen auf Gebäudeebene

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Hibernia Schule	Herne	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierung: 2000 • Sammlung des Dachflächenwassers in zentralem Teich • Einleitung in ein Mulden-Rigolen-Element

Hannover-Kronsberg	Hannover	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Etablierung siedlungswasserwirtschaftlicher Neubaumaßnahmen auf dem Neubaugebiet Kronsberg • Fläche: 150 ha • Niederschlagswasser wird mithilfe eines Mulden-Rigolen-Systems verzögert in die Gewässer geleitet
Grundschule Leuschnerstraße	Hamburg	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierung: 2007 • Entwicklung eines Konzeptes zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung an der Grundschule Leuschnerstraße, Hamburg • Regenwasser wird in ein Mulden-Rigolen-System geleitet

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Regengarten

KURZINFORMATION

In dicht urban geprägten Gebieten können Regengärten als zentrales Element zur Versickerung etabliert werden. Regengärten sind intensiv begrünte Mulden-Rigolen-Elemente. Das Niederschlagswasser wird von Dachflächen und Straßen über ein kombiniertes System zur Versickerung, Filtration und Verdunstung gesammelt.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Regengärten im urbanen Raum (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz

- Erhalt d. Grunddaseinsfunktion Naturschutz
 Klimaschutz

Legende:

- kein Wirkpotential Wirkpotential vorhanden geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude Grundstück Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	15	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,04 - 0,05 m ² /m ² A _u	Max:	30	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Kombinierte Versickerungssysteme kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn die Flächenverfügbarkeit und/oder das Versickerungspotenzial der Böden gering ist. Die Kombination verschiedener Maßnahmen erlaubt es, die Prozesse der Versickerung durch den Oberboden und die nachgeschaltete Zwischenspeicherung von Regenwasser in einer technischen Anlage nachzubilden. Kombinierte Systeme zeichnen sich teilweise auch durch alternative Bepflanzungen aus (Sträucher, Bäume), die zu einer höheren Verdunstungsleistung der Anlage führen.

Eine weitere Ausführung eines kombinierten Systems ist der Regengarten. Er besteht aus bepflanzten Tiefbeeten mit belebter Bodenzone, integrierter Rigole, Dränrohr und einem Drosselablauf. Somit wird die Versickerungsfähigkeit des Bodens ausgenutzt, gleichfalls werden aber durch die gedrosselte Ableitung Vernässungsschäden verhindert sowie Abflussspitzen reduziert. Durch die Bepflanzung wird der Verdunstungsanteil gezielt erhöht. Den Tiefbeeten wird ein Absetzraum (z.B. normaler Straßenablauf) vorgeschaltet, um Feststoffe fernzuhalten. Regengärten zeichnen sich im Vergleich zu Mulden-Rigolen-Systemen durch eine höhere Flächenbelastung aus, die bei ca. 4-5% der angeschlossenen Fläche liegt. Durch die Bauweise mit Betonrahmenelementen entfallen Bankett- und Böschungsbereiche. Regengärten eignen sich daher besonders bei engen Platzverhältnissen, z.B. in Straßenräumen. Der Zulauf kann über oberflächige Zuläufe oder gefasst über Quelltöpfe erfolgen.

Regengärten sind für den Rückhalt und die Reinigung von anfallendem verschmutzten Niederschlagswasser konzipiert. Angeschlossene Flächen, deren abgeleitetes

Niederschlagswasser über die Regengärten versickert und gereinigt werden, sind beispielsweise Straßenabflüsse oder Dachflächen. Die Beschickung der Regengärten erfolgt beispielsweise über eine Öffnung im Bordstein oder über eine Rohrleitung. Daraufhin staut sich das Niederschlagswasser auf der begrünten Fläche ein und versickert durch das Filtermedium. Aufgrund der Bepflanzung werden Schwebstoffe gefiltert und das Niederschlagswasser dadurch gereinigt. Das versickerte Niederschlagswasser gelangt anschließend entweder im Untergrund oder wird über eine Drainage abgeleitet.

Systemskizze

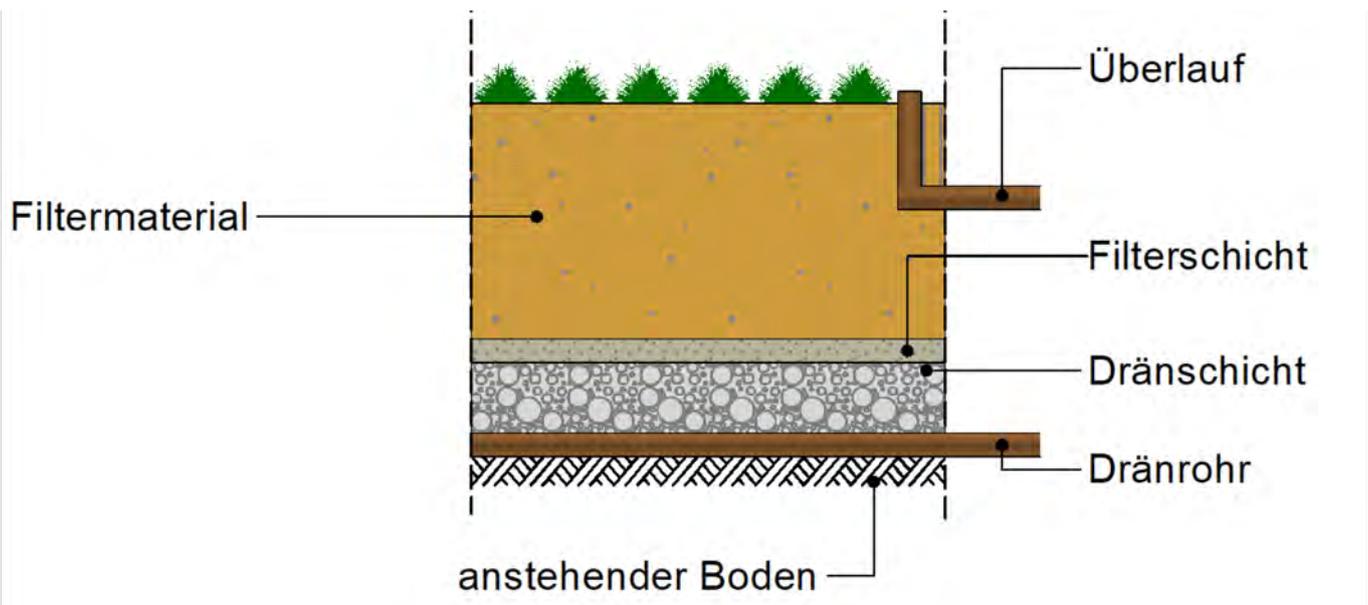


Abb. 2: Aufbau eines Regengartens (Bildquelle: eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Auch Regengärten werden nach dem vereinfachten Verfahren DWA-A 138 (2005) bzw. zukünftig DWA-A 138-1 (Gelbdruck) oder über Langzeitsimulationen dimensioniert. Der Aufbau beinhaltet folgende Bauteile:

- Mulden-Tiefbeet (Hartverschalung) mit humosen Oberboden (≥ 20 cm) und Vegetationsbedeckung (Kraut- und Strauchvegetation),
- Rigole als mit Kies (Körnung 16/32) gefüllter Speicherkörper und Dränrohr oder Füllkörperrigole mit Kunststoffblöcken, für bewachsene Bodenzone k_f -Wert $\geq 1 \times 10^{-5}$ m/s
- Drosselschacht mit Anstau-/Drosselorgan am Ende des Dränrohres,
- Überlauf,
- Ggf. Zulaufkonstruktion (Quelltopf).

Aufwand und Kosten

Für Regengärten mit einer gras- oder staudenbewachsenen Oberfläche verhält sich die Vegetationspflege entsprechend des sonst üblichen Aufwandes. Wichtig ist das Freihalten der

Versickerungsfläche und des Einlaufbereiches von Laub, Sediment und ähnlichen Materialien. Bei Nachlassen der Versickerungsleistung sollte der Rasen vertikutiert werden.

Die Unterhaltung der Rigolen ist bei ausreichender Vorreinigung (Bodenpassage oder technische Anlage) weitgehend wartungsfrei. Eine Kontrolle der Schächte auf Verunreinigung/Verstopfung ebenso wie eine Entfernung der Schmutzstoffe aus dem System sollte in regelmäßigen Abständen (mind. 1 mal pro Jahr) erfolgen. Gegebenenfalls sind die Schächte zu reinigen und das Drainrohrsystem zu spülen. Vor diesem Hintergrund sollte bei Drainrohren ein Rohrdurchmesser von mindestens DN 150 eingehalten werden.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/ (m ² *A _{b,a})		€/ (m ² *a)
min	15	min	0,50
max	40	max	2,00
üblich	25	üblich	0,88

Weitergehende Hinweise

Die Umsetzung eines Regengartens ist nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiV 2001).

Parameter

Wert

Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden
-------------	---

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien

Zielkonflikte

Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität • Förderung der Verdunstung und Grundwasserneubildung durch Einleitung der Dachabflüsse • Förderung der Verdunstung durch Bewässerung urbaner Vegetation • Kombination in Multifunktionalen Rückhalteräumen
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung mit Grauwasser möglich

Baustoffe

- Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten
- Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen

Fläche

- Erhöhte Nutzungsdichte
- Förderung der Biodiversität
- Förderung der Erlebbarkeit und Lebensqualität durch Schaffung grüner Elemente
- Ggf. Flächenkonkurrenz

Ökobilanzielle Bewertung

Die ökobilanzielle Bewertung des Raingarden, weist einen Hotspot in der Bauphase auf (Flynn and Traver, 2013). Mit recycelten und lokalen Baustoffen können die Umweltwirkungen gemindert werden.

Literaturstellen

Flynn, K.M., Traver, R.G., 2013. Green infrastructure life cycle assessment: A bio-infiltration case study. Ecol. Eng. 55. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.004>

Kombinationsmöglichkeiten

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)

[Regengarten](#)

[Baumrigole](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Geeignet auch bei mäßiger Sickerfähigkeit des Bodens	Kein zusätzlicher Nutzen auf Gebäudeebene
Erhöhung der Freiraumqualität	Ressourcenverbrauch und Kosten fünf Mal höher als beim Mulden-Rigolen-System
Verbesserung des Stadtklimas	
Verbesserung der biologischen Vielfalt	
Stoffliche und hydraulische Entlastung der Oberflächengewässer	
Erhöhte Verdunstungsleistung ggü. Mulden-Rigolen-Elementen	
Reduzierung des Abflusses	
Förderung der Grundwasserneubildung	
Durch höhere Flächenbelastung weniger Flächenbedarf notwendig	
Flexible Gestaltung möglich	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Edinburgh Gardens Raingarten	Melbourne	Australien	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierung: 2010 • Fläche: 700 m² • nachhaltige Quelle für gereinigtes Regenwasser für die umliegenden Bäume und Sportplätze des Parks • Alternative für den bestehenden Trinkwasserbedarf
New Mission Temple Church of God in Christ	Chicago	USA	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierung eines Regengartens • das Wurzelsystem der Pflanzen vermindert Überschwemmungen und Erosionen
Straße "Im Grund"	Hoppegarten	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung eines Regengartens im Straßenraum zur Einhaltung des maximalen Drosselabflusses • Gleichzeitig Schaffung einer Verkehrsberuhigung und Reinigung des Regenwassers

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Baumrigole

KURZINFORMATION

Stadtbäume stellen ein wichtiges Element zur Klimaanpassung in urbanen Gebieten dar. Um einerseits das Baumwachstum zu erhöhen und andererseits im Sinne des Überflutungsschutzes Regenwasser versickern zu lassen, können Baumrigolen realisiert werden. Die Systeme sehen vor Niederschlagswasser von Dachflächen und Straßen zu sammeln (Abb. 1) und zur Versickerung über ein kombiniertes System – bestehend aus einer Versickerungsrigole mit einem Retentionsspeicher und einer integrierten Baumpflanzung – zu bringen.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Umsetzung einer Baumrigole im urbanen Raum (Bildquelle: Chris Hamby, lizenziert durch CC BY 4.0)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- Förderung Verdunstung
 Förderung Grundwasserneubildung
 Förderung Behandlung
 Trinkwassereinsparung

	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input checked="" type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input checked="" type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:
ca. 5 % der angeschlossenen, versiegelten Fläche

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Bei der Baumrigole, einer Kombination aus Rigole und Baumpflanzung, wird durch die temporäre Speicherung von Wasser im System die Wasserverfügbarkeit für den Baum erhöht. Über den Bewuchs mit Baumvegetation wird der Verdunstungsanteil gegenüber anderen Systemen erhöht. Wesentlich für die Baumrigole ist das Bodensubstrat. Dieses muss eine gute hydraulische Leitfähigkeit besitzen, um die Entleerung der oberflächennahen Bodenschichten zu gewährleisten. Gleichzeitig muss es einen hohen Humusgehalt aufweisen, um die stoffliche

Retentionswirkung zu gewährleisten. Für eine ausreichende Belüftung des Bodens muss ein hoher Anteil an Grobporen vorhanden sein. Zusätzlich sind technische Belüftungen wie bei normalen Baumstandorten vorzunehmen. Wie bei Mulden-Rigolen kann auch die Baumrigole über einen Drosselablauf entleert werden. Die Drosselspende richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten des Vorfluters. Die Integration der Bäume in die Versickerungssysteme ermöglicht es, auch in schmalen Straßenzügen sowohl Baumreihen als auch begleitende Mulden unterzubringen.

Grundsätzlich kann bei der Umsetzung einer Baumrigole hinsichtlich der Zuleitung des Niederschlagswassers in drei verschiedenen Pflanzgrubentypen unterschieden werden:

- Oberirdische Zuleitung des Niederschlagswassers über die Baumscheibe in die Pflanzgrube (Abb. 2)
- Unterirdische Zuleitung in die Pflanzgrube über Luft- und Wasserschächte
- Zuleitung von Niederschlagswasser über eine Zwischenspeicherung in Tiefbeeten und Mulden

Weiterhin kann eine Baumrigole mit einer Zisterne errichtet werden, um eine ausreichende Bewässerung der Stadtbäume auch in Trockenperioden zu garantieren.

Systemskizze



Abb. 2: Potentieller Aufbau einer Baumrigole (Bildquelle: Daniel Filippi, lizenziert durch CC BY 4.0)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Baumrigolen können nach einem vereinfachten Verfahren aufbauend auf der DWA-A 138 (2005) bzw. zukünftig DWA-A 138-1 (Gelbdruck) bemessen werden. Gleichzeitig sind die Ansprüche an

Baumstandorte der FLL (2010, 2015) zu berücksichtigen. Dies betrifft vor allem das Bodensubstrat. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass auch im Überstaufall ein ausreichendes Volumen des Wurzelraums ungesättigt ist. Zusätzlich muss auf die Behandlungsbedürftigkeit des zufließenden Wassers geachtet werden.

Norm/Regelwerk	Titel
DWA-A 102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer
FLL-Empfehlung (2010, 2015)	FLL-Empfehlung für Baumpflanzungen
FGSV (2005)	Richtlinie für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung
BlueGreenStreets Toolbox	Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere

Aufwand und Kosten

Bei Baumrigolen kommen baumpflegerische Maßnahmen zum Unterhaltungsaufwand dazu, welche dem optimalen Wuchs des Baums aber auch der Gewährleistung der Verkehrssicherheit dienen. Die Unterhaltung der Rigolen ist bei ausreichender Vorreinigung (Bodenpassage oder technische Anlage) weitgehend wartungsfrei.

Investitionskosten		Betriebskosten	
	€/Baumbepflanzung		€/(Baum*a)
min	2.500	min	125
max	7.000	max	350
üblich	5.625	üblich	238

Weitergehende Hinweise

Die Umsetzung von Baumrigolen ist nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiwV 2001).

Parameter	Wert
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination mit Versickerungsanlagen (Mulden, Regengarten etc.) möglich • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität • Förderung der Verdunstung und Grundwasserneubildung durch Einleitung der Dachabflüsse • Förderung der Verdunstung durch Bewässerung urbaner Vegetation • Kombination in Multifunktionalen Rückhalteräumen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Behandlungsbedarf bei Straßenabflüssen
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung mit Grauwasser möglich 	
Baustoffe		<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen
Fläche		<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Flächenkonkurrenz

Ökobilanzielle Bewertung

Für Baumrigolen sind keine Ökobilanzen verfügbar. Generell sollte auf lange Transportwege von Baumaterialien verzichtet und möglichst recyceltes Material verwendet werden.

Kombinationsmöglichkeiten

[Stadtgrün](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Multifunktionale Rückhalteräume](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Solarthermieanlagen](#)[Photovoltaikanlagen](#)[Kleinwindkraftanlagen](#)[Blockheizkraftwerke](#)[Photovoltaikanlagen](#)[Kleinwindkraftanlagen](#)[Kleinstwasserkraftanlagen](#)[Smart Grids](#)[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Erhöhung der Freiraumqualität

Verbesserung des Stadtklimas und Reduzierung des Hitzestresses

Verbesserung der biologischen Vielfalt

Reduzierung des Abflusses

Förderung der Grundwasserneubildung

Große Pflanzgruben bieten mehr Wurzelraum, verbesserte Versickerungsleistungen, höhere Wasserspeicherkapazität

Nachteile

Kein zusätzlicher Nutzen auf Gebäudeebene

Ressourcenverbrauch und Kosten ähnlich hoch wie Regengarten

Bisher noch geringe Umsetzungsbeispiele, Wirkungen noch nicht ausreichend festgestellt

Behandlungsbedürftigkeit des zugeleiteten Regenwassers muss überprüft werden

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Baumrigolen in Berlin „Treedrain“	Berlin	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Gelände der Internationalen Gartenausstellung (IGA) Berlin 2017 • Angeschlossene Fläche: ca. 500 m² • Pflanzgrubenvolumen >120 m³ • Regenwasser wird der Baumrigole zugeführt und langfristig gespeichert
Baumrigolen in Hamburg	Hamburg	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Hölertwiete in Hamburg • Pflanzgrubenvolumen: ca. 13 m³ • Angeschlossene Dachfläche: ca. 200 m² • Zwei Baumrigolen innerhalb einer Fußgängerzone • Werden unterirdisch über einen Schacht bewässert

Tree Pits Stockholm	Stockholm	Schweden	<ul style="list-style-type: none">• Circa 2.000 Baumrigolen• Pflanzgrubenvolumen: mind. 15 m³• Regenwasser wird über offene Rinnen zu Straßeneinläufen geleitet• Konstante Belüftung und Bewässerung des Wurzelraums wird über großformatigen Strukturboden (überbaubar) sicher gestellt
------------------------	-----------	----------	--

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Multifunktionale Rückhalteräume

KURZINFORMATION

Multifunktionale Rückhalteräume stellen bei der Überflutungsvorsorge ein zentrales Element dar. Hierbei dienen urbane Flächen, Straßen und Plätze temporär als Rückhalteraum von Niederschlagswasser.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Umsetzung multifunktionaler Rückhalteräume (Bildquelle: Mathias Uhl)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input checked="" type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input checked="" type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme

Brennstoffe

Fläche

Klimaanpassung

Gesundheitsschutz

Erhalt d. Grunddaseinsfunktion

Naturschutz

Klimaschutz

Legende:

kein Wirkpotential

Wirkpotential vorhanden

geringes Wirkpotential

mittleres Wirkpotential

hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

Gebäude

Grundstück

Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW

Min: k.A.

Stand der Wissenschaft und Technik

Max: k.A.

Stand der Technik

Üblich: k.A.

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Kein zusätzlicher Flächenbedarf, Nutzung vorhandener Flächen

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Als multifunktionale Rückhalteräume werden urbane Flächen bezeichnet, die für den temporären Rückhalt von Niederschlagswasser verwendet werden. Während eines extremen Regenereignisses dienen beispielsweise städtische Plätze als Rückhaltebecken zur Bewältigung des Niederschlags, welcher oberhalb des Bemessungsniveaus der öffentlichen Infrastruktur liegt. Urbane Retentionsflächen können einen Beitrag dazu leisten, extreme Überflutungsschäden zu vermindern, indem gezielt eine Fläche, bspw. eine Straße oder ein Platz, temporär eingestaut und als Retentionsfläche genutzt wird.

Im Trockenfall können multifunktionale Rückhalteräume zum Beispiel Skateanlagen oder Aufenthaltsräume darstellen. Aufgrund einer geringen Flächenverfügbarkeit im urbanen Raum ist die multifunktionale Nutzungsgestaltung eine sinnvolle Lösung.

Hinsichtlich der Häufigkeit der Überflutung von Rückhalteräumen werden zwei Typen entschieden:

- Typ 1: Flächen, deren primäre Hauptnutzung nicht dem Überflutungsschutz gilt, werden nur bei seltenen Starkregenereignissen als Retentionsraum genutzt
- Typ 2: Ausgewiesene Regenrückhalte- und Versickerungsanlagen verfügen über einen

zusätzlichen Rückhalteraum für seltene Niederschlagsereignisse

Systemskizze

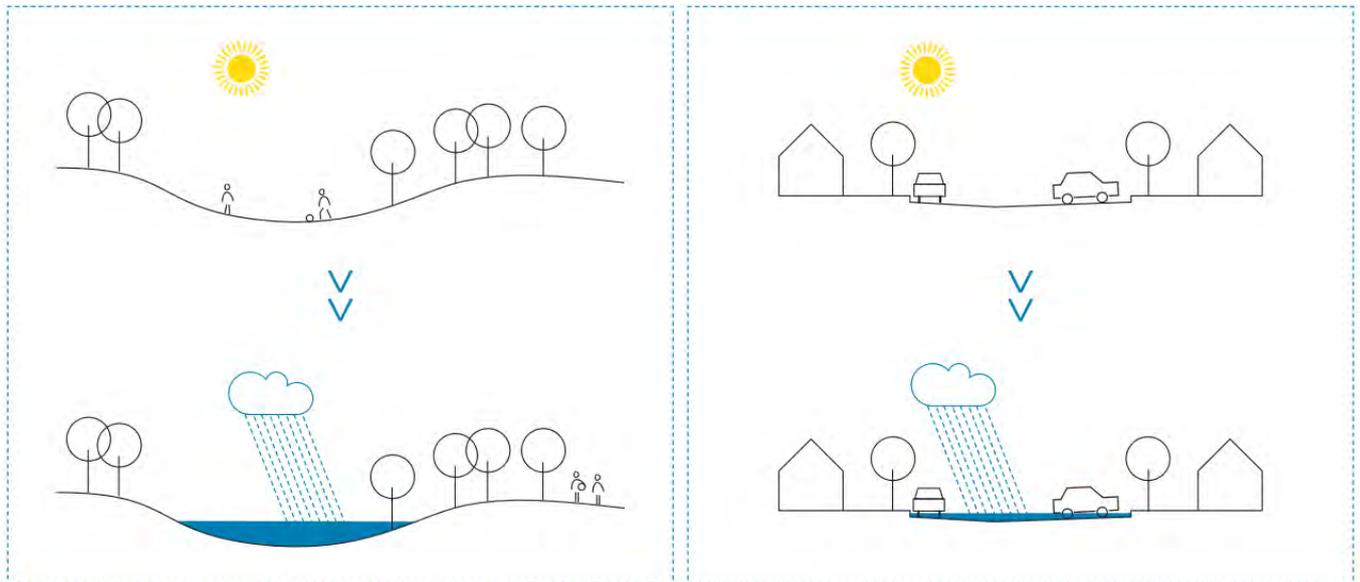


Abb. 2: Skizzen unterschiedlicher Umsetzungen multifunktionaler Rückhalteräume (Bildquelle: Jan Benden)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Multifunktionale Rückhalteräume entsprechen bisher noch dem Stand der Wissenschaft, sodass keine Regelwerke zur Planung und Bemessung verfügbar sind. Entscheidend ist, dass im Planungsprozess alle Akteure eingebunden werden, da die Bewältigung von seltenen und außergewöhnlichen Starkregen eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe darstellt. Unterschiedliche Zuständigkeiten und die Finanzierung müssen individuell geklärt werden. Kooperativ müssen wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen, Überflutungshäufigkeiten und Nutzungsarten, aber auch Aspekte zur Verkehrssicherungspflicht und Barrierefreiheit diskutiert und berücksichtigt werden. Hilfreich für die Planung und Umsetzung ist die Arbeitshilfe MURIEL-Multifunktionale Retentionsflächen.

Norm/Regelwerk

Titel

MURIEL-Multifunktionale Retentionsflächen

Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL (Benden et al. 2017)

Aufwand und Kosten

Je nach Ausführung variieren die Kosten sehr stark. Auch der betriebliche Aufwand variiert je nach Ausstattung des Rückhalteriums. Sind Ablaufkonstruktionen vorgesehen, müssen diese entsprechend dem technischen Bedarf regelmäßig gewartet werden. Ein behinderungsfreies Abfließen des rückgestauten Wassers ist sicherzustellen. Ist der multifunktionale Rückhalteraum mit Vegetation ausgestattet, muss diese regelmäßig rückgeschnitten werden.

Investitionskosten

Betriebskosten

min	k.A.	min	k.A.
max	k.A.	max	k.A.
üblich	k.A.	üblich	k.A.

Hinweis:

Aufgrund der großen Variation an möglichen Ausführungen ist eine Angabe von Kosten nicht zielführend.

Weitergehende Hinweise

Parameter

Wert

Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dachabdichtungsbahnen, die das Regenwasser mit Wurzel- und Flammschutzmitteln belasten, vermeiden • Unbeschichtete Metallflächen, die Schwermetalle abschwemmen, vermeiden
-------------	---

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien

Zielkonflikte

Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> • Die intensive Begrünung von Versickerungsanlagen o.ä. fördert die Verdunstungsleistung und Biodiversität • Förderung der Verdunstung und Grundwasserneubildung durch Einleitung der Dachabflüsse • Förderung der Verdunstung durch Bewässerung urbaner Vegetation • Kombination mit verschiedenen Maßnahmen möglich 	
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung mit Grauwasser möglich 	
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Flächen werden multifunktional genutzt, so dass Baustoffe eingespart werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Baustoffe müssen mehreren Funktionen standhalten • Dachabdichtungsbahnen können das Regenwasser mit Wurzelschutz- oder Flammschutzmitteln belasten • Unbeschichtete Metallflächen können Schwermetalle in die Gewässer oder in den Boden schwemmen

Fläche

- Erhöhte Nutzungsdichte, Flächenkonkurrenzen werden durch Kombination von verschiedenen Nutzungsansprüchen aufgelöst

Ökobilanzielle Bewertung

Momentan steht keine Ökobilanz für multifunktionale Rückhalteräume zur Verfügung. Jedoch zeichnet sich diese Technologie dadurch aus, dass keine zusätzlichen Ressourcen notwendig sind, da Plätze und Straßen bei Starkregenereignissen als Rückhalteräume verwendet werden. Bei Bauvorhaben wie Regenrückhaltebecken sollte möglichst auf recycelte Materialien mit geringer Transportdistanz geachtet werden.

Kombinationsmöglichkeiten[Stadtgrün](#)[Gründach](#)[Dachgarten](#)[Blue roof](#)[Bewässerung](#)[Regenwassernutzung](#)[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)[Mulden- und Flächenversickerung](#)[Schachtversickerung](#)[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)[Mulden-Rigolen-Element/-System](#)[Regengarten](#)[Baumrigole](#)[Grauwasseraufbereitung](#)[Smart Grids](#)[Demand Response](#)[Smart Grids](#)[Demand Response](#)**Vor- und Nachteile****Vorteile**

Multifunktionales Nutzen von Flächen bei geringer Flächenverfügbarkeit, Kopplung mit anderen dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen

Wasserrückhalt

Nachteile

Ansammlung von Schlämmen, Reinigungsbedarf notwendig

Schutz für Kinder ist zu überdenken

Stoffliche und hydraulische Entlastung der
Oberflächengewässer

Geringe Kosten, da Infrastruktur/ Bauwerk schon
geplant wurde, Kanalisation muss nicht
ausgebaut werden

Hohes Gestaltungspotenzial, Aufwertung eines
Quartiers

Erhöhung der Verdunstung

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Rabalder Skateanlage	Roskilde	Dänemark	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierung: 2012 • Kombination eines Rückhaltebeckens und eines Skate- / Freizeitparks • Fläche: von insgesamt 40.000 m² • Speichervolumen: 23.000 m³ • Rückhalt eines 10-jährigen Starkregenereignisses möglich
Arkadien	Winnenden	Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Integration eines oberflächigen Regenwassermanagements in den öffentlichen Freiraum • Sichtbare und bewusste Platzierung von Entwässerungsbausteine zum Sammeln, Ableiten, Rückhalten und zum Reinigen des Regenwassers im Straßen- und Freiraum

Anmerkung: Teile dieses Steckbriefs wurden aus "Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS" (Riechel et al. 2017) übernommen.

Literaturverweise und Nutzungsrechte der Bilder können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

III. Schmutzwasser

Grauwasseraufbereitung

KURZINFORMATION

Als Grauwasser wird der wenig belastete Abwasserstrom aus Dusche, Badewanne, Waschbecken und ggf. Waschmaschine bezeichnet. Dieser lässt sich in Grauwasseraufbereitungsanlagen effizient behandeln und ist besonders für die Wiederverwertung als Brauchwasser für die Toilettenspülung und/oder Bewässerung geeignet.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Draufsicht auf eine Grauwasser-Behandlungsanlage in Helsingborg (Foto: Hamse Kjerstadius)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|---------------|--|---|
| Wasser | <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| | <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| | <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene Gebäude Grundstück Quartier**Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand**

0,1 m ² /EW	Min: 10	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
3 m ² /(m ³ ·d)	Max: 30	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 20	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf ist ein Richtwert für ca. 125 Einwohner. Mit steigender Einwohnerzahl nimmt der spezifische Flächenverbrauch ab (Nolde 2013).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Grauwasser bezeichnet den weniger belasteten Teil des Schmutzwassers, welcher nicht über die Toilette oder das Urinal abgeleitet wird. Der tägliche Grauwasseranfall beträgt zwischen 45 und 85 Liter pro Person und hängt von dem persönlichen Benutzerverhalten, den verwendeten Sanitäreinrichtungen und der Grauwasserquelle ab. Leicht belastetes Grauwasser stammt aus Dusche, Badewanne, Handwaschbecken und ggf. Waschmaschinen. Zu dem stärker belasteten Grauwasser zählen die Abflüsse aus der Küche. Grauwasser lässt sich mit geringerem Aufwand aufbereiten als Schmutzwasser. Das aufbereitete Grauwasser kann als Brauchwasser für die Toilettenspülung, Bewässerung, Waschmaschine oder zur Versickerung bzw. Einleitung

aufbereitet werden. Insgesamt kann durch eine Wiederverwendung bis zu 50 % des Trinkwasserbedarfs eingespart werden.

Die Verfahren zur Grauwasseraufbereitung hängen von der angestrebten Nutzung und der dementsprechend geforderten Qualität ab. Höhere Qualitätsanforderungen gelten für Brauchwasser für die Bewässerung oder die Waschmaschine aufgrund möglichen Kontakts zu Menschen. Eine Anlage zur Aufbereitung besteht grundsätzlich aus Vorbehandlung, biologischer Stufe, Fest-/Flüssigtrennung und Desinfektion. Eingesetzte Technologien umfassen bewachsene Bodenfilter, Tropfkörper, Tauchkörper, Sequencing-Batch-Reactor (SBR), Membran-Biological-Reactor (MBR) und Umkehrosmose. Von den Herstellern werden die Anlagen meistens als Kompaktanlagen angeboten.

Systemskizze

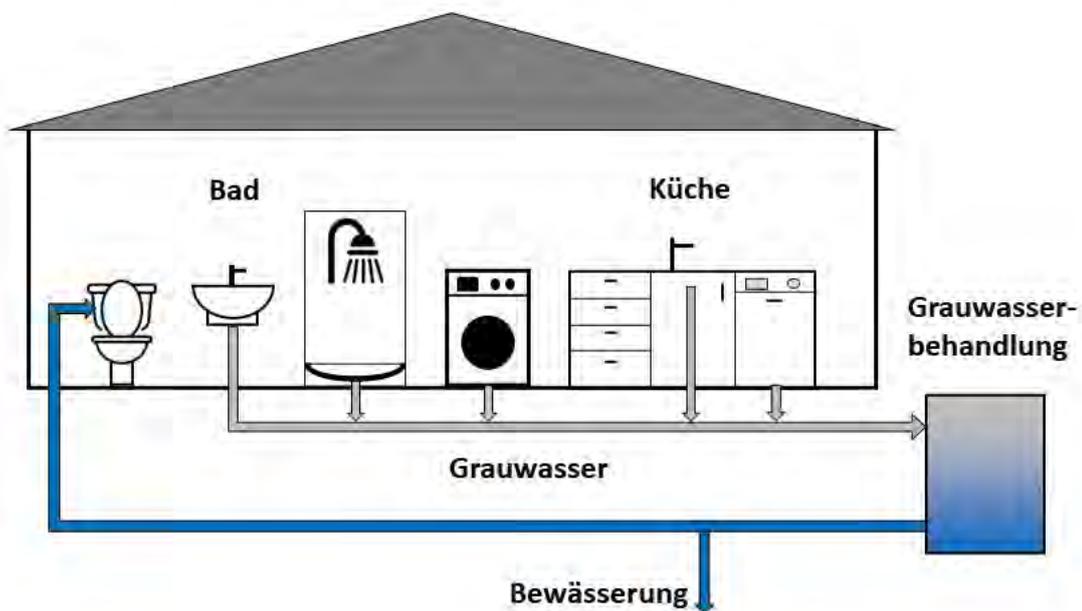


Abb. 2: Grauwasseraufbereitung mit einer Grauwassernutzungsanlage (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Anlagen, die zur Entnahme oder Abgabe von Wasser, das keine Trinkwasserqualität hat, bestimmt sind, müssen der zuständigen Behörde angezeigt werden (§ 13 Abs. 4 TrinkwV). Das zusätzliche Leitungsnetz muss von der Trinkwasserversorgungsleitung vollständig oder über Sicherungseinrichtungen getrennt werden. Zusätzlich müssen die Leitungen eindeutig farblich gekennzeichnet sein (§ 17 Abs. 6 TrinkwV). Die Einleitung von aufbereitetem Grauwasser in ein Gewässer stellt eine Benutzung des Gewässers dar und bedarf einer behördlichen Erlaubnis (§ 8 WHG). Eine einwandfreie Ableitung des Schwarzwassers (Schmutzwasser ohne Grauwasser) muss weiterhin gewährleistet sein. Hinweise zur Auslegung finden sich in den unten genannten Normen und Regelwerken. Es existieren keine rechtlich bindenden Qualitätsanforderungen an aufbereitetes Grauwasser. Für die Grauwasserbeschaffenheit für die Toilettenspülung gelten die Empfehlungen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2007) und die EU-Badegewässerrichtlinie. Die Qualitätsanforderungen für die Bewässerung finden sich in DIN 19650 (1999).

Norm/Regelwerk	Titel
DWA M 277/fbr-Hinweisblatt H 201 (inhaltsgleich)	Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
NASS	Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, stoffliche Nutzung (WSWU 2015)
DIN 19650	Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser
Richtlinie 2006/7/EG	EU-Badegewässerrichtlinie

Aufwand und Kosten

Für die Sammlung von Grauwasser und Verteilung von Betriebswasser muss jeweils ein weiteres Leitungsnetz verlegt werden. Dadurch eignet sich das System besonders für Neubauten und bei Sanierungen. Im Neubau führt dies zu geringfügig größeren Installationsschächten von ca. 10 % (Hefter et al. 2015). In Bestandsgebäuden kann eine nachträgliche Trennung der Stoffströme über das Doppel-Inliner-Verfahren erfolgen (Veser et al. 2015). Für den Neubau kann mit Mehrkosten von 15 bis 20 €/m² Wohnfläche gerechnet werden (Nolde 2013). Die jährlichen Betriebskosten liegen bei ca. 1 bis 4 % der Investitionskosten und der Energieverbrauch zwischen 1,5 und 2,2 kWh/m³ (Nolde 2013, Ringelstein 2020). Dieser beinhaltet die Aufbereitung sowie die Druckerhöhung (ca. 0,3 kWh/m³) und Einspeisung und ist von der verwendeten Technologie und der Belastung des Grauwassers abhängig. Moderne Anlagen sind weitestgehend wartungsfrei und müssen ggf. alle sechs Monate überprüft werden. Die Kapazitäten können von 200 bis 100 000 L/d (ca. 2 bis 2 000 Einwohner) reichen. Durch den modularen Aufbau der meisten Anlagen sind die Hersteller hinsichtlich der Ausbaugröße sehr flexibel. Die Amortisierungsdauer steht in enger Abhängigkeit zum lokalen Trinkwasserpreis, den Abwassergebühren und den angeschlossenen Einwohnern.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/(L/d)	€/E		€/(L/d·a)	€/(E·a)
min	4,21	210	min	0,47	23,51
max	24,53	1 227	max	0,98	58,92
üblich	8,11	406	üblich	0,57	28,39

Weitergehende Hinweise

Herstellerbeispiele:

- Greenlife
- DeHoust GmbH
- INTEWA GmbH

- Aquaco
- iWater Wassertechnik GmbH & Co. KG
- delphin
- Greyter water systems
- water wise Group - Aqua2use
- Alchemia-nova GmbH
- Huber SE

Parameter	Wert
Rentabilitätsgrenze	ab 1 000 bis 2 000 L/d

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Abflussvolumens 	<ul style="list-style-type: none"> • Veränderung des C/N-Verhältnisses im Abwasser durch Grauwasserabtrennung kann zu einem nachteiligen Nährstoffverhältnis auf der Kläranlage führen • Bei Verwendung von Unterdrucktoiletten ist der Spülwasserbedarf als alleiniger Abnehmer zu gering • Fließgeschwindigkeiten in der Schwemmkanalisation können auf einen kritischen Wert absinken und es kann dadurch zu Ablagerungen kommen
Baustoffe		<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Leitungen müssen verlegt werden
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmerückgewinnung aus Grauwasser ist aufgrund der hohen Temperatur sehr effizient 	<ul style="list-style-type: none"> • Durch die dezentrale Aufbereitung erhöht sich der Energiebedarf im Quartier • Spezifischer Energiebedarf ist höher als für die konventionelle Trinkwasseraufbereitung und Abwasserbehandlung (mit ~1 kWh/m³)

Kombinationsmöglichkeiten

- [Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)
- [Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)
- [Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)
- [Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)
- [Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Grauwasserbehandlung mittels Pflanzenkläranlage](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

[Fassadenbegrünung](#)

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Mulden- und Flächenversickerung](#)

[Regengarten](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Einsparung von Trinkwasser, sowie Trink- und Abwasserkosten	Höherer lokaler Energiebedarf
Reduzierung des Abwasservolumens	Gefahr von Ablagerungen im Kanal, wenn die Mindestfließgeschwindigkeit nicht gewährleistet sein sollte
Effiziente Wärmerückgewinnung	Mögliche Folgen für die Kläranlage hinsichtlich der veränderten Nährstoffverhältnisse
geringe Wartungsarbeit und Betriebskosten	
Trinkwassereinsparung	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Passivhaus Arnimplatz	Berlin	Deutschland	Das Passivhaus am Berliner Arnimplatz für Mieter mit 41 Wohnungen und vier Gewerbeeinheiten wurde eine Grauwassernutzung mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung installiert. Das recycelte Grauwasser wird mittels einer Druckerhöhungsanlage als Toilettenspülwasser genutzt. Die Wärme aus dem Abwasser wird in den Pufferspeicher des Heizsystems geleitet.
Passivhaus Marienburg Straße	Berlin	Deutschland	Das Hausprojekt (KfW 40 Haus) besteht aus 16 Wohneinheiten und einer Gewerbeeinheit. Hier wurde eine Grauwasseraufbereitung mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung installiert und mittels Sensoren ein Monitoring betrieben.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Grauwasserbehandlung mittels Pflanzenkläranlage

KURZINFORMATION

Pflanzenkläranlagen bzw. bewachsene Bodenfilter sind naturnahe biologische Abwasserbehandlungsanlagen. Die im Kies/Sand befindlichen Mikroorganismen reinigen unter aeroben und anaeroben Bedingungen das Grauwasser. Dabei dienen die eingesetzten Pflanzen der Auflockerung des Bodens und der ausreichenden Versorgung mit Sauerstoff für die aerobe Behandlung des Grauwassers. Das aufbereitete Wasser kann als Brauchwasser verwendet, versickert oder eingeleitet werden. (Ackermann 2010, Fuchsberger et al. o. J.)

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Schilfbeet mit Schönungsteich (Foto: NaturBauHof.de)

Ressource

Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

Förderung Verdunstung

Förderung Grundwasserneubildung

	<input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input checked="" type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene Gebäude Grundstück Quartier**Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand**

2,50 - 4,00 m ² /EW	Min:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
3 m ² /E	Max:	k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	30	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Quelle des Flächenbedarfs: Ackermann 2010, Fuchsberger et al. o. J.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Bepflanzte Bodenfilter (/Pflanzenkläranlagen) sind naturnahe biologische Abwasserbehandlungsanlagen, die zur Aufbereitung von Grauwasser genutzt werden können. Sie werden meist als horizontal oder vertikal durchströmte Filteranlagen ausgeführt (Ackermann 2010). Eine Ausführung mit mehreren hintereinander oder parallel verlaufenden Filteranlagen ist möglich. Eine Kombination einer horizontal und vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen

(Hybridsystem) ist besonders leistungsstark in der Grauwasserbehandlung (Koschi 2008).

Horizontal durchströmt bewachsener Bodenfilter: Bei der horizontal durchströmten Pflanzenkläranlage wird der zu reinigende Grauwasserzulauf von der Seite aus über eine Verteilerschicht zugeführt und dadurch breitflächig im Bodenkörper verteilt. Das Grauwasser durchfließt die Filterschicht und wird auf der gegenüberliegenden Seite durch ein Dränrohrsystem gesammelt und dem Ablauf zugeführt (Koschi 2008). Der horizontal durchströmt bewachsene Bodenfilter hat eine gute Denitrifikationsleistung, wohingegen die Nitrifikationsraten schlechter sind (Ackermann 2010).

Vertikal durchströmt bewachsener Bodenfilter: Für die vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage wird das zulaufende Grauwasser über mehrere oberhalb der Filterschicht angebrachte Rohre gleichmäßig flächig verteilt. Auf der Sohlseite der Anlage wird das anfallende gereinigte Grauwasser über Dränagen gesammelt und anschließend zum Ablauf geführt. Während dieses Vorgangs wird die Filterschicht der Pflanzenkläranlage zeitweise mit dem anfallenden Grauwasser eingestaut und wieder entleert, wodurch ein Sog entsteht, der frischen Sauerstoff in das Bodengefüge zieht. Dadurch werden gute aerobe Verhältnisse in der Filterschicht erzeugt (Koschi 2008). Der vertikal durchströmt bewachsene Bodenfilter weist im Normalfall eine hohe Nitrifikationsrate auf. Die Leistung im Bereich der Denitrifikation ist geringer (Ackermann 2010).

Oberflächenaufbau und Bepflanzung: Die Oberfläche sollte vor Erosion geschützt sein und beim vertikal durchströmten Bodenfilter zusätzlich waagrecht ausgebildet werden, damit eine gleichmäßige Verteilung des Abwassers gewährleistet werden kann. Als Bepflanzung eignen sich vor allem Sumpfpflanzen (Helophyten). In den meisten Fällen wird Schilf verwendet. Wenn optisch gewünscht, können weitere Sumpfpflanzen hinzugefügt werden. Die bis zu 3,0 m langen Halme besitzen ein besonderes Gewebe, welches den Luftaustausch bis in den bis zu 1,2 m tiefen, ausladenden Wurzelbereich sicherstellt. Die zahlreichen Wurzelhärchen bieten eine hervorragende Aufwuchsfläche für die im Boden befindlichen Mikroorganismen. (Koschi 2008)

Aufbau der Filterschicht: Mittelsande bis Feinkiese mit einer runden Körnung sind besonders als Filtermaterial geeignet. Gebrochenes Material ist aufgrund des geringen Porenvolumens ungeeignet. Für eine gleichmäßige Durchsickerung der Filterschicht ist es notwendig, dass das Filtermaterial aus möglichst gleicher Körnung besteht. Die optimale Korngröße sollte bei 0,1 bis 4,0 mm liegen. Bindige Anteile im Boden sollten vermieden werden. Die Kornverteilung ist durch einen Fachbetrieb zu ermitteln und durch eine unabhängige Prüfstelle nachzuweisen. (Koschi 2008)

Seitliche Abdichtung und Sohlabdichtung des Filterkörpers: Die Pflanzenkläranlage muss nach unten und zu den Seiten mit einer künstlichen und widerstandsfähigen Abdichtung hergestellt werden, damit kein ungereinigtes Abwasser in den darunter liegenden Boden versickern kann. Zur Abdichtung verwendet werden können:

- Wurzelfeste und UV beständige Kunststoffolie (vorzugsweise PE Folie),
- eine Beton- oder Kunststoffwanne oder
- eine mineralische Dichtung mit tonigem Material. Bei anstehendem Boden aus stark bindigem Material (k_f - Wert $< 10^{-8}$ m/s) kann auf eine künstliche Bodenabdichtung verzichtet werden, da dieser undurchlässig für das Abwasser ist (Koschi 2008).

Betrieb und Wartung: Grauwasserkläranlagen in Form von bewachsenen Bodenfiltern müssen

für einen optimal ablaufenden und fehlerfreien Betrieb regelmäßig durch den Betreiber gewartet werden. Um dies zu gewährleisten, sind folgende Wartungsarbeiten regelmäßig durchzuführen:

- Kontrolle der Beschickungspumpe
- Monatliche Begutachtung der Schächte auf ungewöhnliche Wasserstandsschwankungen
- Monatliche visuelle Kontrolle des ablaufenden Wassers
- Wenn notwendig, Mähen/Kürzen des Schilfbestandes im November und Entfernen des Materials vor dem Sprossaustrieb im März
- Führen eines Betriebsbuches Pflege der Pflanzenkläranlage (Fuchsberger et al. o. J.) Des Weiteren sollten ein- bis zweimal pro Jahr folgende Anlagenteile gewartet werden:
 - Mehrkammergrube
 - Schächte
 - Pumpe
 - Beschickungsleitungen (Fuchsberger et al. o. J.)

Systemskizze

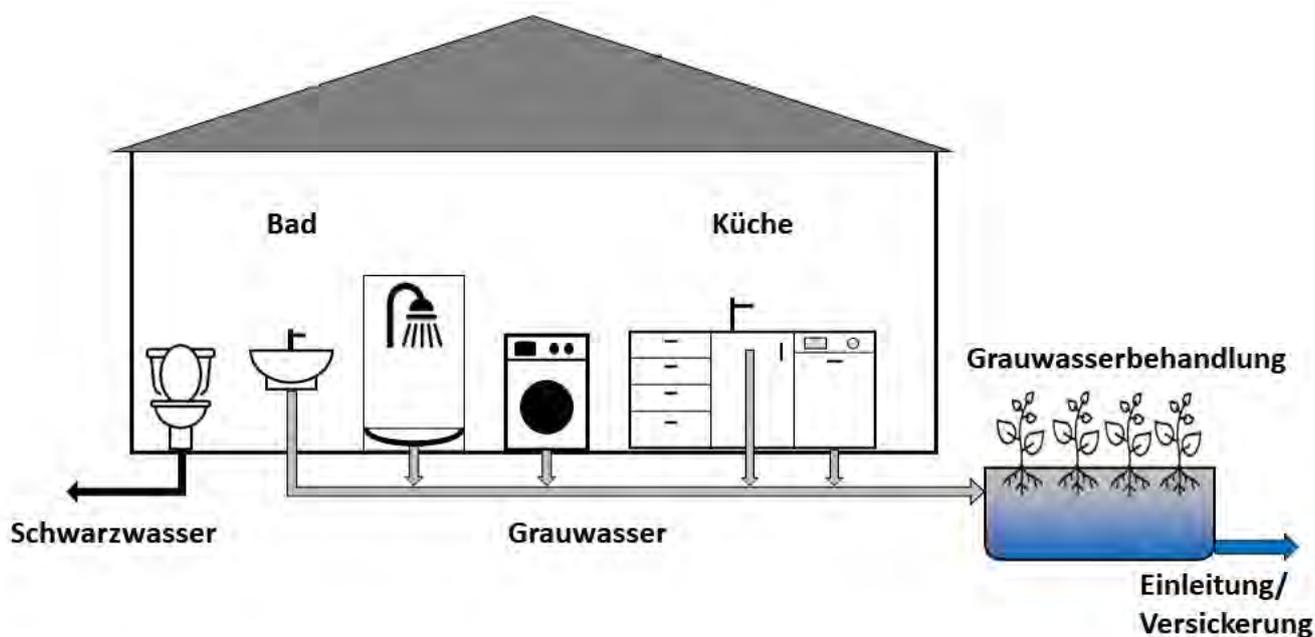


Abb. 2: Grauwasseraufbereitung mit einer Pflanzenkläranlage (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Dimensionierung/Bemessung: Bewachsene Bodenfilter für die aerobe Grauwasserreinigung sind nach der hydraulischen Belastung zu bemessen. Im Zulauf befindet sich auch nach der Vorreinigung noch ein Teil abfiltrierbarer Stoffe. Daher sollte bei feinen Mittelsanden eine Beaufschlagung von $20 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ und bei Grobsanden von $60 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ nicht überschritten werden. Da durch Bodenporenverstopfung eine vollständige Nutzung der Filteroberfläche zur Infiltration in der Praxis nicht realisierbar ist, sollte mit einer Mindestfläche von $3 \text{ m}^2/\text{E}$ geplant werden. (Fuchsberger et al. o. J.)

Versickerung von behandeltem Grauwasser: Die Nutzung einer Versickerungsanlage für das

behandelte Grauwasser muss von der dafür zuständigen Wasserbehörde genehmigt werden. Zu beachten ist, dass die Phosphor- und Stickstoff-Werte im Grauwasser nur noch 2 bis 5 % der Nährstoffe im häuslichen Abwasser haben dürfen. (Mehlhart et al. 2005)

Direkteinleitung von behandeltem Grauwasser in ein Oberflächengewässer: Für die Direkteinleitung von behandeltem Grauwasser in ein Oberflächengewässer müssen ebenfalls die regionalen Bestimmungen zum Einleiten von Abwasser eingehalten werden.

Rechtliches: Anlagen, die zur Entnahme oder Abgabe von Wasser, das keine Trinkwasserqualität hat, bestimmt sind, müssen der zuständigen Behörde angezeigt werden (§ 13 Abs. 4 TrinkwV). Das zusätzliche Leitungsnetz muss von der Trinkwasserversorgungsleitung vollständig oder über Sicherungseinrichtungen getrennt werden. Zusätzlich müssen die Leitungen eindeutig farblich gekennzeichnet sein (§ 17 Abs. 6 TrinkwV). Die Einleitung von aufbereitetem Grauwasser in ein Gewässer stellt eine Benutzung des Gewässers dar und bedarf einer behördlichen Erlaubnis (§ 8 WHG). Eine einwandfreie Ableitung des Schwarzwassers (Schmutzwasser ohne Grauwasser) muss weiterhin gewährleistet sein.

Norm/Regelwerk	Titel
DWA-M 277/fbr-Hinweisblatt H 201 (inhaltsgleich)	Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasser-teilströmen
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
NASS-Themenband	Neuartige Sanitärsysteme – Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, stoffliche Nutzung (WSWU 2015)
DWA A 262	Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers

Aufwand und Kosten

Die Investitionskosten für die Pflanzenkläranlage sind ähnlich zu denen von technischen Kompaktanlagen. Der finanzielle Vorteil der Pflanzenkläranlage liegt in den geringen Betriebs- und Wartungskosten. Die geringen Kosten entstehen durch einen verringerten Wartungsaufwand, Energiebedarf und Schlammfall. Für die Pflanzenkläranlage ist es sinnvoll einen Wartungsvertrag mit einer Firma abzuschließen, welche die Anlagenteile jährlich oder halbjährlich auf ihre Funktion prüft. (Fuchsberger et al. o. J.)

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/E		€/(E*a)	€/m ³
min	750	min	25	
max	3 000	max	62,5	

üblich

1 350

üblich

40

31

Hinweis:

Die Werte stammen aus Fuchsberger et al. (o. J.) und den Steckbriefen aus SAMPSONS2 (Schütze et al. 2019)

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Schmutzwasser	Verringerung des Abflussvolumens, welches zur Kläranlage geleitet werden muss.	Bei großflächigen Abtrennungen von Grauwasser kann es aufgrund von verringerten Kohlenstofffrachten zu Betriebsproblemen auf der Kläranlage kommen.
Baustoffe		Es müssen zusätzliche Rohrleitungen verlegt werden.

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz von Grauwassernutzung ist generell positiv zu bewerten. Sie kann verbessert werden indem die Behandlung mit erneuerbaren Energien betrieben wird, was die CO₂-Emissionen senken kann. Polyvinylchloridrohre können durch Polyethylenrohren ersetzt werden, um toxische Emissionen zu reduzieren (Masmoudi Jabri et al., 2020).

Literaturstellen

Masmoudi Jabri, K., Nolde, E., Ciroth, A., Bousselmi, L., 2020. Life cycle assessment of a decentralized greywater treatment alternative for non-potable reuse application. Int. J. Environ. Sci. Technol. 17. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02511-3>

Kombinationsmöglichkeiten

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Rigolen- und Rohrrigolenversickerung](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Fassadenbegrünung](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Mulden- und Flächenversickerung](#)

[Regengarten](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Demand Response](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Einsparung von Trinkwasser, sowie Trink- und Abwasserkosten 	<ul style="list-style-type: none"> • höherer lokaler Energiebedarf
<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung des Abwasservolumens 	<ul style="list-style-type: none"> • Es besteht die Gefahr von Ablagerungen im Kanal, wenn die Mindestfließgeschwindigkeit aufgrund des geringeren Abwasseraufkommens nicht gewährleistet ist.
<ul style="list-style-type: none"> • mögliche effiziente Wärmerückgewinnung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei einer großflächigen Abtrennung von Grauwasser bestehen mögliche Folgen für die Kläranlage hinsichtlich veränderter Nährstoffverhältnisse.
<ul style="list-style-type: none"> • geringe Wartungsarbeit und Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> • großer Flächenbedarf im Vergleich zur technischen Aufbereitungsanlage
<ul style="list-style-type: none"> • benötigen nicht viel Technik (naturnahes Reinigungsverfahren) 	
<ul style="list-style-type: none"> • können bei ausreichendem Gefälle ohne Strom betrieben werden 	
<ul style="list-style-type: none"> • unproblematisch bei schwankendem Abwasseranfall 	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Flintenbreite	Lübeck	Deutschland	Flintenbreite ist eine ökologische Wohnsiedlung, in der anfallendes Schmutzwasser in zwei Teilströme (Grauwasser, Schwarzwasser) getrennt und anschließend behandelt wird. Der Grauwasseranteil wird vor Ort durch eine Pflanzenkläranlage behandelt.

Braamwisch	Hamburg	Deutschland	In Braamwisch verfügen 33 Wohneinheiten über wasserfreie Kompost-Trockentoiletten und 7 Wohneinheiten über Spültoiletten, welche mit Regenwasser gespült werden. Alle Häuser sind an zwei getrennte Wasserkreisläufe angeschlossen. Die siedlungseigene Grauwasser-Pflanzenkläranlagen reinigen das Abwasser und führen es in nahe gelegene Gewässer ab. Das bedeutet, dass keine ungeklärten Abwässer in diesem Teil der Siedlung entstehen. Die Häuser mussten somit nicht an die öffentliche Kanalisation angeschlossen werden.
Moorwiesensiedlung	Kiel	Deutschland	Die Siedlung besteht aus 21 Wohneinheiten, die nicht an ein öffentliches Kanalnetz angeschlossen wurden. Es findet eine getrennte Erfassung von Schwarz-, Regen- und Grauwasser statt. Das Grauwasser wird in einer Pflanzenkläranlage vor Ort behandelt.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Urinbehandlung und -verwertung

KURZINFORMATION

Menschlicher Urin enthält viele Nährstoffe, vorrangig Phosphor, Stickstoff, Kalium und Schwefel (EAWAG 2019). Aufbereiteter Urin kann als natürlicher Dünger eingesetzt werden, sodass die Nährstoffe wiederverwendet werden können (Etter et al. 2015). Vor der Aufbereitung ist die Separation von Urin mittels Trenntoiletten oder Urinalen erforderlich, um Urin von Fäzes und Spülwasser zu trennen (Clemes et al. 2008).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Wasserlose Urinale und Spültrenntoiletten (VUNA GmbH)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|--|--|
| Wasser | <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| | <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |
| | <input type="checkbox"/> Verwertung | <input type="checkbox"/> Beseitigung |

Recycling

Energie

Energiebereitstellung

Energieverteilung

Energieverbrauch

Energiespeicherung

Elektrizität

Wärme

Brennstoffe

Fläche

Klimaanpassung

Gesundheitsschutz

Erhalt d. Grunddaseinsfunktion

Naturschutz

Klimaschutz

Legende:

kein Wirkpotential

Wirkpotential vorhanden

geringes Wirkpotential

mittleres Wirkpotential

hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

Gebäude

Grundstück

Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

0,14 m²/EW

Min: 15

Stand der Wissenschaft und Technik

Max: 30

Stand der Technik

Üblich: 20

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf gilt für das Vuna-Verfahren und hat einen unterproportionalen Zusammenhang. Bei einer Verzehnfachung der Kapazität verdoppelt sich der Flächenbedarf. Die Mindestkapazität für das VUNA Verfahren beträgt bei 200 L/d Einwohner (= 20 bis 25 m²) (Vuna GmbH 2021). Die Nutzungsdauer bezieht sich auf Urinale ohne Wasser (Geberit International AG 2017). Ähnliches gilt für die technischen Anlagen.

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Die im menschlichen Urin enthaltenen Nährstofffrachten liegen bei 10,4 g/(E·d) Stickstoff, 1,0 g/(E·d) Phosphor, 2,5 g/(E·d) Kalium und 0,7 g/(E·d) Schwefel (WSWU 2015). Täglich produziert eine Person ca. 1,4 L Urin (WSWU 2015). Neben den Nährstoffen befinden sich im Urin aber auch Schadstoffe wie Schwermetalle oder Medikamentenrückstände (z. B. Ibuprofen), wobei die Schwermetallkonzentrationen vergleichsweise gering ausfallen (WSWU 2015). Die Urinseparation vereinfacht eine gezielte Behandlung sowie die Rückgewinnung von Nährstoffen und schützt damit die Umwelt vor dem Eintrag der Schadstoffe (EAWAG 2019). Durch den Einsatz von wasserlosen Urinalen und Trenntoiletten kann der Urin abgetrennt werden. Der Urin wird dadurch

nicht mit Fäzes vermischt und Spülwasser verdünnt, sodass die Konzentration an Nährstoffen hoch bleibt.

Wasserlose Urinale benötigen kein Spülwasser und sind bereits weit verbreitet. Sie werden hauptsächlich in öffentlichen Einrichtungen eingesetzt wie bspw. in öffentlichen Gebäuden oder auf Autobahnraststätten (WSWU 2015). Vor dem Hintergrund steigender Trink- und Abwasserkosten drängen diese vermehrt auf den Markt (WSWU 2015). Es gibt verschiedene Modelle, die sich vornehmlich in der Konstruktion und Art der Geruchsverschlüsse unterscheiden. Um Geruchsbildung zu vermeiden wird entweder ein Geruchsverschluss mit Sperrflüssigkeit eingesetzt oder ein mechanischer Geruchsverschluss konstruiert. Beim Einsatz einer Sperrflüssigkeit wird diese in den Siphon gegeben. Die Sperrflüssigkeit hat eine geringere Dichte als Urin, sodass sie auf dem Urin schwimmt und dadurch eine Geruchsbildung verhindert. Bei mechanischen Geruchsverschlüssen dient ein wasserabweisender Schlauch der Vermeidung von Gerüchen. Sobald Urin in das Urinal gelangt, öffnet sich der Schlauch und der Urin kann abfließen. Danach verschließt sich das untere Ende des Schlauchs wieder (WSWU 2015).

Spültrenntoiletten haben einen separaten Ablauf nur für Urin. Sie können entweder so konstruiert sein, dass eine Wand das Toilettenbecken in zwei Bereiche trennt oder der Urinablauf etwas höher gelegt wird. Im vorderen Bereich des Toilettenbeckens befinden sich kleine Öffnungen, in die der Urin direkt in eine separate Urinleitung abfließen kann. Fäzes und Toilettenpapier gelangen direkt in den Siphon im hinteren Teil des Toilettenbeckens. Beide Bereiche des Toilettenbeckens werden mit Spülwasser gespült. Bei Spültrenntoiletten können für manche Personengruppen Schwierigkeiten bei der Nutzung auftreten. Gerade für Kinder ist die Nutzung nicht immer so einfach wie bei herkömmlichen Spültoiletten. Die Hersteller versuchen jedoch mit integrierten Kindersitzen diesen Problemen Abhilfe zu schaffen (WSWU 2015). Eine weitere Konstruktionsmöglichkeit ist die Toilette „save!“. Diese Konstruktion nutzt die Oberflächenspannung und kann dadurch ohne weitere mechanische Teile Urin trennen. Vorteil dieser Konstruktion ist zudem, dass nicht erkennbar ist, dass eine Toilette zur Urinseparation vorliegt, wodurch die Akzeptanz erhöht wird (EAWAG 2019).

Weiterhin gibt es **Trockentrenntoiletten**. Diese sind in Entwicklungsländern, besonders im asiatischen Raum, weit verbreitet, während sie in Europa hauptsächlich in ländlichen und entlegenen Gebieten Skandinaviens eingesetzt werden (WSWU 2015). Zusätzlich finden sich diese in Deutschland in Kleingärtenanlagen und Wohnmobilen.

Es gibt eine Vielzahl an Verfahren und Verfahrensketten, welche für die Urinbehandlung geeignet sind. Eine umfangreiche Darstellung und Einordnung aller Verfahren findet sich in Larsen et al. (2021). Der Steckbrief legt den Fokus auf das Vuna-Verfahren und wird durch die Struvitfällung ergänzt. Näheres zur Struvitfällung findet sich in dem Steckbrief "MAP-Fällung".

Die **Struvitfällung** ist ein einfaches und schnelles Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor. Struvit (Summenformel $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) ist ein Mineral, welches neben Phosphat (12,5 %) auch Magnesium (10,0 %) und Stickstoff (5,0 %) enthält und als Dünger eingesetzt werden kann. Struvit zeichnet sich vor allem durch seine hohe Pflanzenverfügbarkeit aus (Römer 2013). In einem Struvitreaktor wird Urin mit Magnesium zusammengeführt und anschließend gefiltert, um Struvit als Feststoff zu erhalten. Daneben entsteht phosphatfreier Urin, der weiterbehandelt werden muss. Daher sollte der Struvitreaktor mit weiteren Verfahren kombiniert werden. Der Struvitreaktor kann je nach Menge des anfallenden Urins beliebig ein- und ausgeschaltet werden, wodurch er flexibel einsetzbar ist. Unterschieden werden kann zwischen händisch oder automatisch gesteuerten Struvitreaktoren. Bei manuell bedienten Reaktoren muss die Dosis von

Magnesium nach einer Laboranalyse, die den Phosphorgehalt im Urin ermittelt, hinzugegeben werden. Bei automatisch laufenden Struvitreaktoren entfällt die Laboranalyse, da die Magnesiumdosis automatisch ermittelt wird. Dadurch können eine Überdosierung und damit einhergehende Verschwendung des Magnesiums vermieden werden (Etter und Udert 2016).

Das **Vuna-Verfahren** kombiniert die beiden Verfahrensschritte Nitrifikation und Destillation miteinander. Als Produkt entstehen ein flüssiger Dünger (Aurin) sowie als Nebenprodukte destilliertes Wasser und wenig Schlamm. Der Reaktor (Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR) ist zu ca. 60 % mit Trägermaterial für die Biomasse gefüllt, die mit ihrer großen Oberfläche eine Aufwuchsfläche für die Bakterien, die für die Nitrifikation benötigt werden, bietet. Während der Nitrifikation werden ca. 50 % des gesamten Vorkommens an Ammonium und Ammoniak zu Nitrat umgewandelt. Bei der anschließenden Destillation wird der Urin auf ca. 3 - 5 % seines Ursprungsvolumens konzentriert. Die Nährstofflösung wird aufgefangen und das destillierte Wasser kann gelagert und ggf. weiter genutzt werden. So ist z. B. eine Nutzung des destillierten Wassers als Spülwasser für die Toiletten, zur Bewässerung von Pflanzen oder als Wasser in Batterien denkbar. Über einen Wärmetauscher wird die entstandene Wärme des Destillats genutzt, um den neu zufließenden Urin zu erwärmen und energieeffizient zu arbeiten. Der Energieverbrauch liegt bei 100 Wh/L behandelter Urin. (Etter und Udert 2016)

Systemskizze

Mit dem Vuna-Verfahren zum effizienten und sicheren Nährstoff-Kreislauf

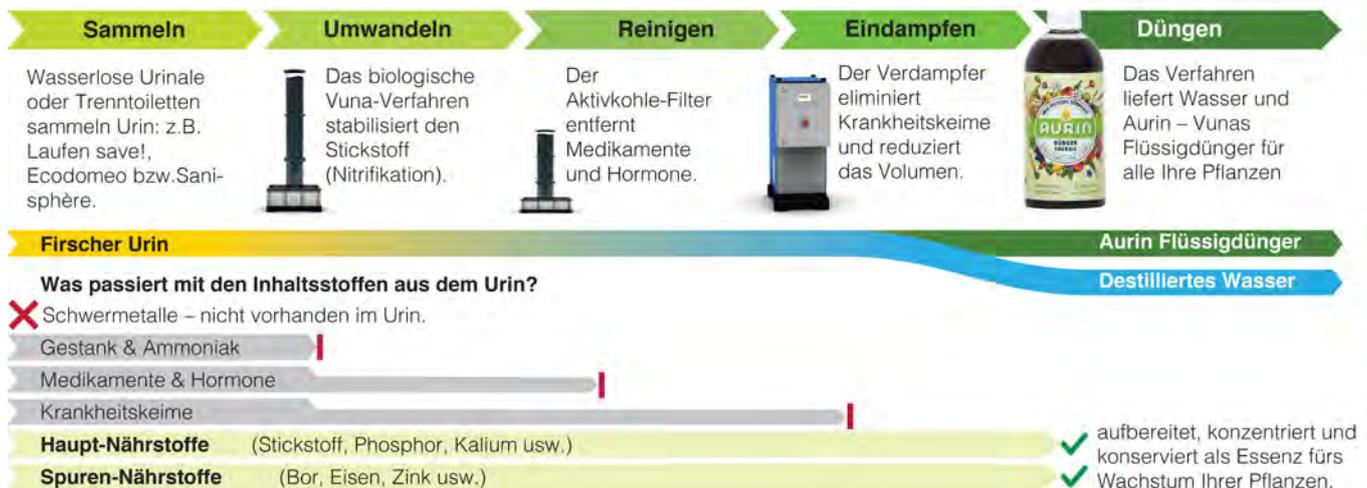


Abb. 2: Schematische Darstellung des VUNA-Verfahrens (VUNA GmbH)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Die **Ableitung** des Urins aus den Separationstoiletten kann über eine DN 50 Anschlussleitung, die Ableitung des Braunwassers über eine DN 100 Anschlussleitung erfolgen (WSWU 2015).

Der **räumliche Platzbedarf** der Anlage für das Verfahren zur vollständigen Nährstoffrückgewinnung für 50 bis 100 L Urin pro Tag liegt bei ca. 5 m², der Raum, in dem die Anlage aufgebaut wird, sollte eine Größe von 10 m² nicht unterschreiten (Etter und Udert 2016).

Bei **Dünger** wird zwischen Mineraldünger und organischem Dünger unterschieden. Urin hat einen

hohen Harnstoffgehalt und nur wenig organische Substanz, sodass Urin den Mineraldüngern zugeordnet wird (WSWU 2015). Nach § 3 Abs. 1 S. 2 Nr. 1 der deutschen Düngemittelverordnung (DüMV) müssen Düngemittel unbedenklich für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie die Fruchtbarkeit des Bodens sein. Neue Düngemittel und Ausgangsstoffe für Düngemitteltypen müssen zugelassen werden (WSWU 2015). Die Separationsprodukte aus neuartigen Sanitärsystemen sind rechtlich noch nicht eindeutig eingeordnet, sodass der menschliche Urin aus Separationstoiletten noch nicht nach den Regeln der Düngemittelverordnung eingesetzt werden kann. Bisher ist nur eine Ausbringung des Urins mit Ausnahmeregelung, z. B. zu Forschungszwecken möglich (WSWU 2015). In der Schweiz ist die Ausbringung von Urindünger bereits erlaubt (Vuna GmbH o. J.).

Norm/Regelwerk

Titel

DüMV

Düngemittelverordnung

Aufwand und Kosten

Der **Installationsaufwand** einer Urinseparationstoilette ist größer als bei einer herkömmlichen Spültoilette, da getrennte Leitungen zur Urinabführung verlegt werden müssen und zusätzlich ein Tank zur Lagerung des Urins aufgestellt werden muss, sofern die Behandlung nicht vor Ort stattfindet. Zudem muss der gesammelte Urin regelmäßig abtransportiert werden, was mit weiteren Kosten verbunden ist (Larsen und Lienert 2007).

Urinseparationstoiletten unterscheiden sich äußerlich nicht von herkömmlichen Spültoiletten. Der **Reinigungsaufwand** ist aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten zur Urinabtrennung geringfügig größer als bei herkömmlichen Spültoiletten (WSWU 2015). Hinsichtlich der Wartung und des Reinigungsaufwandes unterscheiden sich wasserlose Urinale nur wenig von mit Wasser spülenden Urinalen. Die Sperrflüssigkeit muss in regelmäßigen Abständen ersetzt oder nachgefüllt werden und bei mechanischen Geruchsverschlüssen ist der Schlauch zu reinigen (WSWU 2015). Innerhalb einer Nutzungsdauer von 20 Jahren müssen Siphon, Siphongehäuse, Abgangsrohr und Sprühkopf bei allen sanitären Einrichtungen ersetzt werden (Geberit International AG 2017).

Das Urinaufbereitungsverfahren Vuna, welches Urin zu Dünger (Aurin) und destilliertem Wasser aufbereitet, hat Anschaffungskosten von 50 000 €/100 EW-Anlage. Hierzu kommen Planungs- und Einbaukosten von 5 000 €/100 EW-Anlage, Wartungs- und Instandhaltungskosten von 500 €/(a·100 EW-Anlage) und Betriebskosten von ebenfalls 500 €/(a·100 EW-Anlage). Dem entgegen stehen die Erlöse von ca. 31 618 €/(a·100 EW-Anlage) (bei 8,25 € pro 1 L Aurin). Bei den Kosten herrscht ein unterproportionaler Zusammenhang, d.h. eine Verzehnfachung der Kapazität führt lediglich zu einer Verdopplung der Kosten.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/Stück (Urinal ohne Wasser)	€/Stück (Spültre- nn- toilette)	€/Stück (Urinal mit Wasser)	€/E W (Vun a)	min max üblich	€/EW (Vuna)
min	262,22	69,90	490			25,3
max	535,16	696,98	840			52,5
						31,1

üblich	367,49	230,00	270,00	644
---------------	--------	--------	--------	-----

Hinweis:

Die Investitionskosten und Betriebskosten sind den verschiedenen Größenordnungen des Vuna Verfahrens (max: NX-200, üblich: NX-500, min: NX-1000) entnommen (Vuna GmbH 2021). Mit steigender Anlagengröße sinken die Kosten über das dargestellte Minimum hinaus.

Weitergehende Hinweise

Die Anschaffungskosten für ein Urinal ohne Wasser sind stark vom Material (z. B. Kunststoff oder Keramik) und der Ausstattung (z. B. Werbedisplay) abhängig (URIMAT Deutschland AG o. J., ARTIGO GmbH o. J.). Neben den Anschaffungskosten fallen Montagekosten an. Diese liegen bspw. bei 184,45 € brutto pro wasserlosem Urinal (URIMAT Deutschland AG o. J. 2020).

Die Anschaffungskosten für ein wasserloses Urinal sind ca. 20 % höher als bei einem Urinal mit Sensorspülung, dafür fallen jedoch keine Anschaffungskosten für die Spülung und ein Installationselement an. Die jährlichen Betriebskosten betragen aufgrund des wasserlosen Betriebs nur ca. ein Drittel der Betriebskosten eines wasserspülenden Urinals. Eine Langzeitbetrachtung über einen Zeitraum von 10 Jahren verdeutlicht, dass bei wasserlosen Urinalen insbesondere bei den Betriebskosten das größte Einsparpotenzial vorhanden ist (ARTIGO GmbH o. J.).

Hersteller Wasserlose Urinale:

- KemTec, Kemmler Baustoffe GmbH, Deutschland
- RENSCHLER Sanitär Lösungen, August Renschler GmbH & Co. KG
- ARTIGO GmbH, Deutschland
- urinowa GmbH, Deutschland
- Duravit AG, Deutschland

Hersteller Spültrenntoiletten:

- Wostman, Schweden
- BB Innovation & Co AB - WC Dubbletten, Schweden
- LAUFEN Bathrooms AG, Schweiz

Hersteller Aufbereitungsverfahren:

- KMU-Loft Cleanwater GmbH, Deutschland
- Lenntech, Niederlande
- WEHRLE-Werk AG, Deutschland
- Multi Umwelttechnologie AG, Deutschland
- AnoxKaldes AB, Schweden
- STUN - Low cost Struvite Reactor, Eawag, Schweiz
- Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc. Europe, Vereinigtes Königreich
- NuReSys Nutrients Recovery Systems, Belgien
- Vuna GmbH, Schweiz
- Sanitation360, Schweden

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	Bei Mischwasserentlastungsereignissen wird eine geringere Stickstoff- und Phosphorfracht emittiert.	
Schmutzwasser	Die Abtrennung von Urin entlastet zentrale Kläranlagen.	
Energie	Der Energieverbrauch auf der Kläranlage wird reduziert.	Der lokale Energieverbrauch erhöht sich im Quartier.

Ökobilanzielle Bewertung

Die Bewertung von unterschiedlichen Urinbehandlungsmethoden ist nicht eindeutig. Ishii und Boyer (2015) kommen zu dem Ergebnis, dass die Phosphor-Rückgewinnung die geringste Umweltbelastung erzeugt und eine Ammoniak Rückgewinnung einen zu hohen Chemikalienbedarf hat. Allerdings reduzieren alle Urinseparationsverfahren den Wasserbedarf. Igos et al (2017) zeigen auf, dass die Urinseparation und die Rückgewinnung von Struvit und Ammoniak durch eine mikrobielle Elektrolysezelle ökologisch vorteilhaft ist. Bisinella de Faria et al. (2015) kommen zu einem ähnlichen Ergebnis, betonen aber, dass weiteres Optimierungspotential ausgeschöpft werden sollte, um die nötige Infrastruktur auf ein Minimum zu reduzieren.

Literaturstellen

Ishii, S.K.L., Boyer, T.H., 2015. Life cycle comparison of centralized wastewater treatment and urine source separation with struvite precipitation: Focus on urine nutrient management. Water Res. 79. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.010>

Igos, E., Besson, M., Navarrete Gutiérrez, T., Bisinella de Faria, A.B., Benetto, E., Barna, L., Ahmadi, A., Spérandio, M., 2017. Assessment of environmental impacts and operational costs of the implementation of an innovative source-separated urine treatment. Water Res. 126. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.016>

Bisinella de Faria, A.B., Spérandio, M., Ahmadi, A., Tiruta-Barna, L., 2015. Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA). Water Res. 84. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.048>

Kombinationsmöglichkeiten

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[MAP-Fällung](#)

[Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Rückgewinnung und Wiederverwertung von Nährstoffen und Wasser	Schwierigkeiten bei der Nutzung durch manche Personengruppen
Einsparung von Wasser bei Urinalen ohne Wasser und modernen Spültrenntoiletten	Rechtliche Grundlagen, technische Regelwerke und Langzeiterfahrungen fehlen

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
KREIS-Haus	Feldbach ZH	Schweiz	Das KREIS-Haus steht für Klima und Ressourcen-Effizientes Suffizienz Haus. Es ist ein Projekt zur Planung und zum Bau eines Trockentoilettensystems sowie der Trinkwasseraufbereitung , welches aufzeigt, wie eine funktionierende Kreislaufwirtschaft auf kleinstem Raum in Gebäuden umgesetzt werden kann.
Blüemlisalpütte	Kandersteg	Schweiz	Es handelt sich um die Planung eines Trockentoilettensystems mit Urin- & Grauwasserbehandlung für die Blüemlisalp und den Einbau einer Ultrafiltrationsanlage für die Trinkwasseraufbereitung.
Ecovillage Hannover Konzept	Hannover	Deutschland	Es wurde eine zentrale Urinaufbereitung für eine Genossenschaftssiedlung für rund 1 000 Bewohner*innen geplant. Ziel ist ein Wasserkonzept zur Schließung von Kreisläufen in der Siedlung.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Anaerobe Schwarzwasserbehandlung

KURZINFORMATION

Als Schwarzwasser wird der Toilettenabfluss bezeichnet, welcher aus Fäkalien (Fäzes und Urin), Toilettenpapier und Spülwasser besteht. Aufgrund der hohen Konzentration an organischen Verbindungen sowie Nährstoffen kann aus Schwarzwasser über eine anaerobe Behandlung Biogas erzeugt werden. Die Gärreste können im Anschluss zur Rückgewinnung von Stickstoff und Phosphor bzw. zur Herstellung von Dünger genutzt werden.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: UASB-Reaktoren in Helsingborg (Foto: Hamse Kjerstadius)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

0,2 m ² /EW	Min: 30	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: 40	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 35	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Die Nutzungsdauer wird für den baulichen Teil angegeben. Für die Maschinenteknik liegt die Nutzungsdauer üblicherweise bei ca. 12,5 Jahren.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Bei einem Trinkwasserverbrauch von 127 Liter pro Einwohner und Tag (BDEW 2019) macht der Anteil von Fäkalien (Fäzes und Urin) mit 1,41 L/(E•d) (WSWU 2015) nur etwa 1 % des Abwassers aus. Dabei enthält das Schwarzwasser, welches neben den Fäkalien noch Toilettenpapier und Spülwasser beinhaltet, 58 % des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB₅), 52 % des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB), 92 % des gesamten Stickstoffs und 75 % des gesamten Phosphors (WSWU 2015). Jeder Einwohner erzeugt in Abhängigkeit von der verwendeten Sanitärtechnik (Unterdrucktoilette oder Spültoilette) 3 bis 6 oder 36 bis 72 Liter Schwarzwasser pro Tag (af Petersens et al. 2001). Durch eine Trennung von Schwarzwasser und Grauwasser bleibt das

Schwarzwasser höher konzentriert als in der konventionellen Schmutzwasserabfuhr, wo Grau- und Schwarzwasser gemischt abgeleitet werden. Eine anaerobe Behandlung ist grundsätzlich für hochkonzentrierte Abwässer mit einem CSB von > 2000 mg/L einsetzbar (Kaltschmitt et al. 2009). Bei einem Anfall von 70 g CSB/(E•d) (60 g aus Fäzes und 10 g aus Urin (WSWU 2015)) ergibt sich mit den o. g. Spülwassermengen eine Konzentration von 1 940 bis 23 000 mg/L. Daher eignet sich Schwarzwasser besonders für die anaerobe Behandlung (Wendland 2008). Die Reduzierung des täglichen Zuflusses durch Unterdrucktechnik reduziert allerdings nicht gleichzeitig das Reaktorvolumen, da bei höheren Konzentrationen durch z. B. low flush Unterdrucktoiletten eine höhere hydraulische Aufenthaltszeit (hydraulic retention time – HRT) und ein höheres Schlammalter (sludge retention time – SRT) für den gleichen CSB-Abbau empfohlen wird (Cunha 2018). Stattdessen kann unter gleichem Energieaufwand eine geringere Menge an Wasser höher erwärmt werden. Eine anaerobe Behandlung ist ein langsam ablaufender Prozess, weshalb das Verfahren für häusliches Schmutzwasser aufgrund der enormen erforderlichen Reaktorvolumina ungeeignet ist (Blanken et al. 2019). Die Ziele einer anaeroben Behandlung von Schwarzwasser sind nach Giese und Londong (2015):

- Abbau organischer Substanz und Umwandlung/Transformation in Biogas
- Sicherstellung eines effizienten Betriebs und der Entsorgungssicherheit
- Anaerober Abbau von Metaboliten und Arzneimittelrückständen
- Auslastung von redundanten Faulraumkapazitäten durch Co-Fermentierung von Biomasse zur Erhöhung der Biogasausbeute

Die anaerobe Behandlung ist eine konventionelle Methode organisches Material in Biogas umzuwandeln. Das Biogas besteht aus 55 - 75 % Methan und 25 - 45 % CO_2 (Alp 2010; Kujawa 2005). Die Konzentration der im Schwarzwasser vorhandenen organischen Substanzen ist von dem Spülwasservolumen und dem verwendeten Sanitärsystemen abhängig (Elmitwalli et al. 2011). Höhere Konzentrationen und biologische Abbaubarkeit erhöhen die potentielle Methanausbeute (Zeeman und Kujawa-Roeleveld 2013). Die Biogasgewinnung kann über die Zugabe von Bioabfällen enorm gesteigert werden (Hertel et al. 2015). Ein für die Biogasproduktion optimales Verhältnis von Schwarzwasser und Küchenabfällen liegt bei 1 zu 1 (Gao et al. 2020). Da über die Vergärung nur organische Verbindungen abgebaut werden, bleiben die Nährstoffe größtenteils in den Gärresten vorhanden. Die Gärreste eignen sich aufgrund ihres hohen Nährstoffgehalts zur Nährstoffrückgewinnung oder Weiterverwertung und können direkt als Dünger verwendet werden (Elmitwalli et al. 2011).

Upstream Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB) oder aufwärts durchströmter Schlammbedreaktor nach Lettinga et al. (1980)

Als eine der weit verbreitetsten anaeroben Hochlastreaktoren wird der UASB zur Behandlung von häuslichen und industriellen Abwässern mit einer Raumbelastung von bis zu $10 \text{ kg BSB}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ eingesetzt (Steinmetz et al. 2017; Tilley et al. 2014; Zeeman und Lettinga 1999). Über ein Verteilsystem wird dieser kontinuierlich von unten nach oben beschickt. Im oberen Bereich erfolgt über einen Dreiphasenseparator die Trennung der festen, flüssigen und gasförmigen Phase (Steinmetz et al. 2017). Der Schlamm sammelt sich als Schlammbed bestehend aus gut absetzbaren Schlammflocken bzw. Granulen oder Pellets im unteren Bereich des Reaktors (Zeeman und Kujawa-Roeleveld 2013), wobei sich bei Abwasser mit vielen Schwebstoffen wie z. B. Braun- und Schwarzwasser hauptsächlich Flocken bilden. Trotzdem ist ein ausreichender Schlammrückhalt vorhanden (de Graaff et al. 2010). Die große Schlammbedichte im unteren Bereich erlaubt eine hohe Raumbelastung bei gleichbleibender Schlammbedbelastung (Rosenwinkel et al. 2015). Außerdem wird durch den Rückhalt des Schlammes das SRT von der HRT entkoppelt

(Giese et al. 2015). Die hydraulische Aufenthaltszeit kann mit 8,7 d deutlich unter der von volldurchmischten Reaktoren (CSTR) liegen (de Graaff et al. 2010). Schrägen bzw. Platten an den Wänden hindern aufsteigende Partikel den Reaktor zu verlassen (Tilley et al. 2014). Gelöste organische Verbindungen werden biologisch zu Biogas abgebaut. Die Abbaugrade von CSB betragen dabei bei einer Betriebstemperatur von 25°C 78 % (de Graaff et al. 2010). Die aufsteigenden Gasbläschen sorgen für eine Durchmischung des Schlammes. Feste organische Partikel werden zunächst physikalisch durch die Schlammsschicht zurückgehalten und anschließend abgebaut. Der Ablauf befindet sich im oberen Bereich des Reaktors hinter den Schrägen. Das Gas kann über eine Art Kuppel gesammelt und abgeleitet werden. Die Gasproduktion beträgt 10 L/(E•d) (de Graaff et al. 2010) und kann über die Zugabe von Küchenabfällen auf bis zu 22 L/(E•d) gesteigert werden (Kujawa-Roeleveld et al. 2006). Um das Schlambett in Schwebelage zu halten soll eine vertikale Fließgeschwindigkeit von 0,7 bis 1,0 m/h eingehalten werden (Tilley et al. 2014). Der Ablauf des Reaktors enthält 91 % des Stickstoffs 61 % des Phosphors und organischen Schlamm (de Graaff 2010). Der Einsatz des Reaktors findet eher im subtropischen bzw. tropischen Bereich aufgrund der geringeren Anforderungen und klimatischen Vorteile Anwendung (Zeeman und Lettinga 1999). Trotzdem wird der UASB als eine Schlüsseltechnologie zur dezentralen Behandlung von Abwasserteilströmen gesehen (Leal et al. 2017) und wurde in mehreren Pilotprojekten umgesetzt (siehe Fallbeispiele: Oceanhamnen H+ und Waterschoon).

Continuous Stirred Treatment Reactor (CSTR)

Der CSTR ist ein kontinuierlich beschickter, volldurchmischter Ausschwemmreaktor, welcher als Schwachlastreaktor betrieben und auf konventionellen Kläranlagen zur Faulung eingesetzt wird (Steinmetz et al. 2017). Er zeichnet sich besonders durch seine hohe Betriebsstabilität aus. Die Trennung der festen und flüssigen Phasen erfolgt durch die vorhandene Voll Durchmischung nicht im Reaktor und muss extern durchgeführt werden. Als voll durchmischter Reaktor entspricht das Schlammalter der hydraulischen Aufenthaltszeit, weshalb dieser einen großen Volumenbedarf aufweist. Maßgebender Prozess für die hydraulische Aufenthaltszeit ist die Hydrolyse (Zeeman und Kujawa-Roeleveld 2013). Die gewöhnliche hydraulische Aufenthaltszeit liegt zwischen 15 und 20 Tagen für mesophile Betriebstemperaturen (30 - 45 °C) (Zeeman und Lettinga 1999). Da die aktuell üblichen Faulzeiten in kommunalen Kläranlagen von 20 bis 30 Tagen bedenkenlos auf 15 bis 20 Tage reduziert werden können (Dichtl und Schmelz 2015), ist eine Co-Vergärung von Schwarzwasser im Faulturn aufgrund von freien Kapazitäten möglich. Erste vielversprechende Versuche für eine Co-Vergärung wurden von Wasielewski et al. (2017) durchgeführt. Über die Co-Vergärung von Küchenabfällen kann die Raumbelastung mit leicht abbaubaren Küchenabfällen von 1 kg CSB/(m³•d) auf bis zu 5 kg CSB/(m³•d) und die hydraulische Aufenthaltszeit von 20 auf 15 Tage gesenkt werden (Wendland 2008).

Für die Bemessung von Faulbehältern (CSTR) existieren bislang keine allgemeinen Bemessungsgrundsätze (Dichtl und Schmelz 2015). Hinweise zur Bemessung finden sich in DWA-M 368 (2014). Ein Merkblatt zur Co-Vergärung in kommunalen Faulschlammbehältern ist das DWA-M 380 (2020). In der kommunalen Abwasserbehandlung liegen typische Abbaugrade der organischen Trockenmasse (oTM) bei einem Abbaugrad der leicht abbaubaren organischen Masse von 85 % bei 60 % (Primärschlamm), 38 % (Überschussschlamm) und 48 % (gemischter Rohschlamm) (DWA-M 368 2014). Die Raumbelastung für einstufige Systeme liegt zwischen 1,7 und 2,9 kg CSB_{abb}/(m³•d) und die spezifische Methanausbeute bei 0,44 - 0,57 m³/oTM (DWA-M 368 2014). Bei einem Verhältnis von CSB zu oTM von 1,7 (DWA-M 368 2014) entspricht die Gasausbeute 0,26 - 0,34 m³/kg CSB. Bei Wendland et al. (2007) ergibt sich eine Gasproduktion durch reine Schwarzwasservergärung von 0,23 m³ CH₄/kg CSB bei einer einwohnerspezifischen

Fracht von 43 g CSB/(E•d) (entspricht einer Raumbelastung von 0,5 kg CSB/(m³•d)) und einer einwohnerspezifischen Gasproduktion von 10 L CH₄/(E•d). Das CO₂-Equivalent für die Schwarzwasservergärung wird bei Wendland (2008) aus dem Bedarf an thermischer und elektrischer Energie mit 2 - 21 kg CO₂/(E•a) berechnet.

Potential zur Biogas- bzw. Energiegewinnung

Im Schwarzwasser befinden sich ca. 70 g CSB/(E•d), welche zur Biogasgewinnung genutzt werden können (DWA 2008). Bei der reinen Vergärung von Schwarzwasser können unabhängig vom verwendeten Verfahren (UASB oder CSTR) in etwa 10 bis 16 L/(E•d) Methan erzeugt werden (de Graaff et al. 2010; Wendland et al. 2007). Dabei lässt sich die Ausbeute durch die Zugabe von Co-Substraten in etwa verdoppeln (von 8,3 L/d auf 18 L/d) (Kujawa-Roeleveld et al. 2005) oder verzehnfachen (von 2 L/d auf 24 L/d) (Giese et al. 2015). Der Biogasgewinn in konventionellen Kläranlagen beträgt zwischen 20 und 25 L/(E•d) (Haberker et al. 2008). Die hohe einwohnerspezifische Biogasproduktion ist teilweise durch die Mitbehandlung von Fremdschlämmen erklärbar. Grundsätzlich ist die Biogausausbeute von Schwarzwasser gering. Der wesentliche Vorteil besteht in der Vermeidung einer energieintensiven Belüftung, sodass der gesamte Behandlungsprozess von Abwasser weniger energieintensiv ist (Hertel et al. 2015). Beim Vergleich mit dem konventionellen System lässt sich durch die Vermeidung des Biomasseabbaus in der Belebung und der Mitbehandlung von Lebensmittelresten die Methanproduktion um bis zu 80 % steigern (Kjerstadius et al. 2015). Allerdings erzeugt eine schwach belastete Vergärung ohne Co-Substrat mit ca. 69 % CH₄ eine höhere Gasqualität (Giese et al. 2015). Nach Gallert et al. (2015) enthalten unter Normalbedingungen 350 L Methan einen CSB von 1 kg. Mit einem Primärenergiegehalt von Methan von 9,96 kWh/m³ (Rosenwinkel et al. 2015) und 70 g CSB/(E•d) ergibt sich ein Primärenergiepotential von 0,24 kWh/(E•d). Daraus resultiert bei einem CSB-Abbaugrad von 80 % (Dockhorn 2006) ein Potential für Schwarzwasser mit 70 g CSB/(E•d) von 19,6 L CH₄/(E•d) und für Braunwasser mit 60 g CSB/(E•d) von 16,8 L CH₄/(E•d). Bei einem Methananteil von 66 % (Kujawa-Roeleveld et al. 2006) entspricht dies einer Biogasproduktion von 29,7 L/(E•d) bzw. 25,5 L/(E•d). Unter Berücksichtigung eines niedrigeren Abbaugrads von 61 % und einem Methananteil von 65 % sind die Werte vergleichbar mit den von Wendland (2008) berechneten 14 L/(E•d). Laut Wriege-Bechtold (2015) kann bei der Behandlung des gesamten Abwassers inkl. Bioabfälle eine Biogasproduktion von maximal 60 L/(E•d) erreicht werden. Das entspricht auch den Angaben von Fraunhofer IGB (o. J.), wo von einer Verdopplung der Biogasmenge von ursprünglich 34 L/(E•d) durch die Zugabe von Bioabfällen die Rede ist. Die anaerobe biologische Abbaubarkeit von hochkonzentriertem und weniger konzentriertem Schwarzwasser beträgt 72 % bzw. 75 % (Wendland et al. 2007).

Systemskizze

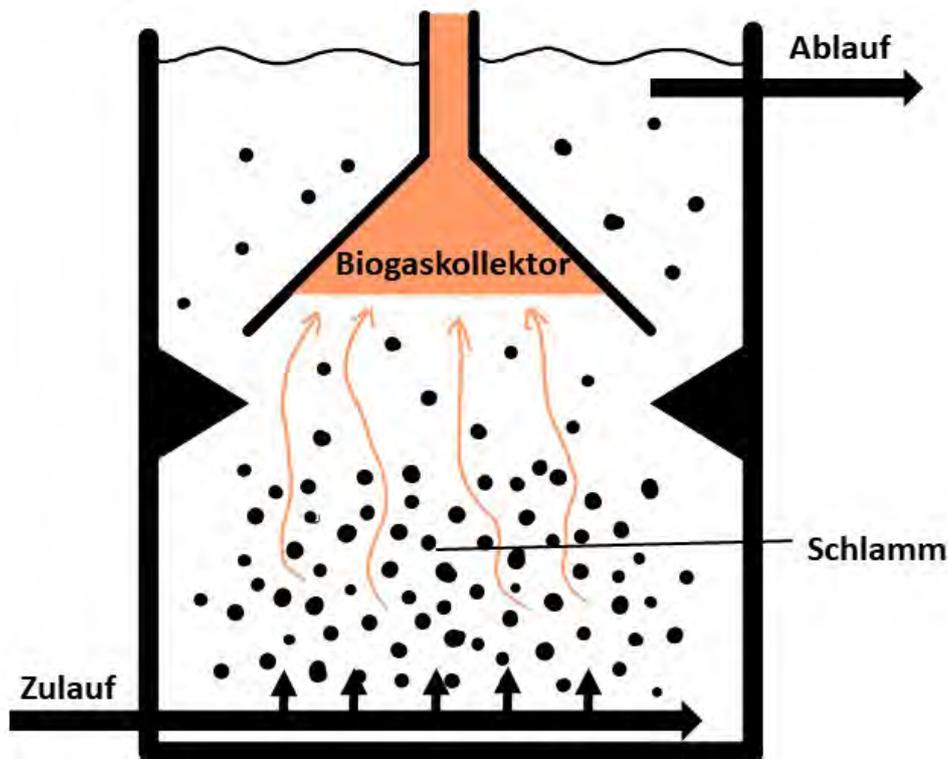


Abb. 2: UASB-Reaktor (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Als wesentliche Bemessungsgröße gilt die hydraulische Aufenthaltszeit. Die Reaktoren benötigen eine lange Einfahrzeit von > 50 Tagen.

Norm/Regelwerk	Titel
DüG	Düngegesetz
DüMV	Düngemittelverordnung
DüV	Düngeverordnung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
DWA-Themen (2016)	Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen
DWA-M 368 (2014)	Biologische Stabilisierung von Klärschlamm
DWA-M 380 (2020)	Co-Vergärung

Aufwand und Kosten

Die Kosten stammen aus den Steckbriefen der Simulationssoftware SAMPSONS2 (Schütze et al. 2019). Unter die Investitionskosten fällt zum einem die Biogasanlage inkl. dem baulichen und dem maschineller Teil, sowie die E-Technik und zum anderen der bauliche und maschinelle Teil des Schlammspeichers. Die Betriebskosten enthalten nur die Personalkosten. Der Abtransport der Gärreste wird nicht berücksichtigt.

Hersteller:

- Landustrie (NL), Desah
- Veolia: BIOTHANE®UASB
- HST Systemtechnik
- ACS-Umwelttechnik

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/E (CSTR)	€/E (BHKW)		€/(E*a) (CSTR)	€/(E*a) (BHKW)
min			min		
max			max		
üblich	210,77	12	üblich	1,56	0,3

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien

Zielkonflikte

Energie	Das produzierte Biogas kann über BHKWs verbrannt und zur Strom und Wärmeerzeugung genutzt werden.
----------------	---

Ökobilanzielle Bewertung

Eine separate ökobilanzielle Betrachtung, die nur die anaerobe Behandlung von Schwarzwasser betrachtet ist nicht bekannt. Allerdings existieren Studien die die Umweltauswirkungen von ressourcenorientierten Sanitärsystemen mit konventionellen Systemen vergleichen und zeigen, dass vor allem die Treibhausgasemissionen und der Ressourcenverbrauch durch Trennung von Grau- und Schwarzwasser mit einer Rückgewinnung von Nährstoffen reduziert werden kann (Thibodeau et al., 2014).

Literaturstellen

Thibodeau, C., Monette, F., Glaus, M., 2014. Comparison of development scenarios of a black water source-separation sanitation system using life cycle assessment and environmental life cycle costing. Resour. Conserv. Recycl. 92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.08.004>

Kombinationsmöglichkeiten

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Grauwasserbehandlung mittels Pflanzenkläranlage](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[MAP-Fällung](#)

[Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Der Kohlenstoff wird zur Biogasproduktion genutzt anstatt über aerobe Bakterien, welche eine energieintensive Belüftung benötigen, abgebaut zu werden.

Das erforderliche Reaktorvolumen ist vergleichsweise gering.

Nachteile

Das Verfahren hat eine sehr hohe Einfahrzeit.

Es findet keine Entfernung von Stickstoff oder Phosphor statt. Daher muss eine weitere Behandlung der Gärreste berücksichtigt werden.

Die Reaktionsgeschwindigkeiten sind stark temperaturabhängig.

Das System ist potentiell anfälliger für toxische Stoffe.

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Jenfelder Au	Hamburg	Deutschland	Im Quartier Jenfelder Au in Hamburg wird der Hamburg Water Cycle® umgesetzt. Die verschiedenen Stoffströme (Grauwasser, Schwarzwasser, Regenwasser) werden getrennt abgeleitet, um Nährstoffe und Energie zurückzugewinnen. Durch Unterdrucktoiletten und ein Unterdruckkanalisationssystem wird das Schwarzwasser nur geringfügig durch Spülwasser verdünnt. Es sind ca. 2 000 Bewohner an das Kanalisationssystem und die Schwarzwasserbehandlung angeschlossen (Oldenburg et al. 2015).
Oceanhamnen H+ (Helsingborg Schweden)	Helsingborg	Schweden	In Helsingborg werden auf einem ehemaligen Industrie- und Hafengelände Wohnungen und Bürogebäude geschaffen. In den Gebäuden werden Unterdrucktoiletten eingesetzt und es wird ein Unterdruckkanalisationsnetz errichtet. Bis 2035 sollen auf dem 100 ha großen Gelände Wohneinheiten für bis zu 10 000 Einwohner entstehen. Die erste Bauphase für 320 Apartments und 1 800 Einwohner hat 2017 begonnen. Seit 2021 ist der erste Teil der Anlage in Betrieb. (Kisser et al. 2020; Skambraks et al. 2017).
Noorderhoek	Niederlande	Sneek	Während der Umstrukturierung des Stadtteils Noorderhoek in Sneek wurde 2011 ein neues Sanitärkonzept umgesetzt. Über ein Unterdrucksystem mit Unterdrucktoiletten werden die Küchenabfälle und Schwarzwasser getrennt vom Grauwasser gesammelt. Das Schwarzwasser wird anschließend in einem UASB-Reaktor behandelt. Das Biogas wird zur Energie und Wärmegewinnung genutzt. Das Grauwasser wird in einer separaten Anlage aufbereitet und die im Grauwasser enthaltene Wärme zurückgewonnen.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Unterdruckentwässerung

KURZINFORMATION

Bei der Unterdruckentwässerung handelt es sich um ein Verfahren, bei dem häusliches oder industrielles Abwasser mittels Erzeugung von Unterdruck gesammelt und in Unterdruckkanälen abgeleitet wird (DIN EN 16932-1 2018). Durch den Einsatz von Unterdrucktoiletten beginnt die Unterdruckentwässerung bereits auf Gebäudeebene. Der Wasserbedarf für eine Spülung beträgt ca. 1 Liter, wodurch Trinkwasser eingespart und die anfallenden Stoffströme nur geringfügig mit Spülwasser verdünnt werden (Oldenburg et al. 2015).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Vakuumtoilette; Rechts: Unterdruckleitungen in Helsingborg (Foto: Hamse Kjerstadius)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene Gebäude Grundstück Quartier**Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand**k.A. m²/EW

Min: 11

 Stand der Wissenschaft und Technik

Max: 50

 Stand der Technik

Üblich: k.A.

 Allgemein anerkannte Regeln der Technik**Hinweis:**

Unterdruckventile, Steuer- und Regeleinheiten sollten eine Lebensdauer von ca. 100 000 Spülgängen erreichen. Dies entspricht einer Nutzungszeit von ca. 11-14 Jahren in einem Privathaushalt (Oldenburg et al. 2015). Die Lebensdauer der Rohleitungen wird auf 50 Jahre geschätzt.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Eine getrennte Ableitung von Stoffströmen ermöglicht eine gezieltere Behandlung jedes einzelnen Stoffstroms, erleichtert die Rückgewinnung von Ressourcen und macht das in den Stoffströmen enthaltene energetische Potenzial effizienter nutzbar (Oldenburg et al. 2015). Besonders im Schwarzwasser sind große Mengen an Nährstoffen enthalten (WSWU 2015). Um Schwarzwasser getrennt und konzentriert abzuleiten, kann ein Unterdruckentwässerungssystem mit Vakuumtoiletten/Unterdrucktoiletten eingesetzt werden.

Bei einem **Unterdrucksystem zur Entwässerung von Schmutzwasser** wird das häusliche Abwasser über eine herkömmliche Spültoilette mittels Schwerkraft entwässert und außerhalb des Gebäudes in einem Sammelschacht gesammelt. An den Sammelschacht wird nachfolgend eine Unterdruckleitung angeschlossen, über die das Abwasser durch einen von der Unterdruckstation produzierten Unterdruck abgesaugt wird (DIN EN 16932-1 2018). Das Schmutzwasser wird in seiner Menge und Zusammensetzung nicht beeinflusst.

Bei dem **Unterdrucksystem zur Entwässerung von Schwarzwasser** beginnt das Unterdrucksystem bereits auf Gebäudeebene mit der Unterdrucktoilette. Der Vorteil dieser Konstruktionsvariante liegt darin, dass das Schwarzwasser nur geringfügig mit Spülwasser verdünnt wird und die Stoffströme besser getrennt werden können (Oldenburg et al. 2015). Zwischen der Toilette und der Unterdruckpumpe entsteht eine Druckdifferenz, welche das Abwasser zur Unterdruckzentrale transportiert. Sobald die Spülung der Toilette betätigt wird, öffnet sich das Toilettenventil und das anfallende Schwarzwasser wird durch Einsaugen von Luft in mehreren Schüben zur Unterdruckstation gefördert (Oldenburg et al. 2015). Nach Beenden des Spülvorgangs verschließt sich das Toilettenventil wieder und die Toilette wird mit ca. 1 L Wasser gefüllt. Das Funktionsschema einer Unterdrucktoilette ist in der weiter unten abgebildeten Systemskizze ersichtlich.

Optisch betrachtet unterscheiden sich Unterdrucktoiletten insofern von herkömmlichen Toiletten, dass die Abflussöffnung mit einem Durchmesser von 32 bis 42 mm kleiner ist (Oldenburg et al. 2015). Zudem haben Unterdrucktoiletten in der Regel keinen Spülrand. Das Wasser wird über Düsen in das Toilettenbecken eingelassen (Schramm et al. 2019).

Im Vergleich zu wassersparenden Spültoiletten mit Schwerkraftentwässerung, bei denen ca. 3 – 6 L Wasser pro Spülvorgang anfallen, verbrauchen Unterdrucktoiletten nur circa 1 L Wasser pro Spülung (Oldenburg et al. 2015). Aufgrund der geringeren Spülwassermenge und geringen Verdünnung von Schwarzwasser ist eine anaerobe Behandlung möglich (von Horn et al. 2013).

Im Folgenden wird die **Funktionsweise** des Entwässerungssystems näher erläutert. Der Sammler des Entwässerungssystems besteht aus aufeinanderfolgenden Hoch- und Tiefpunkten. Grundsätzlich drückt in einem Unterdruckentwässerungssystem Luft, welche in das System eingelassen wird, das Abwasser in Richtung einer Unterdruckstation. An Tiefpunkten in der Unterdruckkanalisation sammelt sich das Abwasser und verschließt dadurch die Rohrleitung. Wenn ein weiteres Absaugventil die Richtung stromaufwärts freigibt, wird erneut Luft in den Unterdruckkanal eingelassen. Durch die Luftdruckdifferenz vor und hinter dem am Tiefpunkt aufgestauten Abwasser wird dieses vom Tiefpunkt als Luft-Wasser-Gemisch in einen steigenden Abschnitt der Kanalisation in Richtung der Unterdruckstation bis zu einem weiteren Tiefpunkt gedrückt. Dieser Prozess wiederholt sich bis das Abwasser einen Unterdruckbehälter erreicht, wo es gesammelt wird und über eine Druckleitung zur Abwasserbehandlungsanlage oder in ein weiterführendes Kanalnetz gegeben wird (DIN EN 16932-1 2018).

Damit dieses Prinzip funktionieren kann, muss das Unterdrucksystem aus steigenden und fallenden Abschnitten in Fließrichtung bestehen (DIN EN 16932-1 2018). Das Einrichten von Tiefpunkten ist zwingend erforderlich, da sonst die eingesaugte Luft über das Schwarzwasser hinwegströmen würde und es nicht in erforderlichem Maße beschleunigen könnte (DWA-Arbeitsgruppe ES-2.3 2010). Die Anordnung des Höhenprofils kann als Wellen-, Sägezahn- oder Taschenprofil erfolgen. Wellenprofile können ohne Formstücke durch Biegung der Leitungen hergestellt werden. Sägezahnprofile mit 45°-Formstücken und Taschenprofile, welche vor den 45°-Anstiegen zusätzliche U-förmige Vertiefungen haben, werden erst bei Nennweiten ab DN 100

eingesetzt (DWA-A 116-1 2005). Bei der Planung des Höhenprofils ist zu berücksichtigen, dass mehrere weniger hohe Anstiege besser sind als ein einzelner hoher Anstieg (DIN EN 16932-3 2018). Ein Vorteil der Unterdruckentwässerung ist, dass diese unabhängig von Gefälle oder Tiefenlage der Umgebung ist (DIN EN 752 2017). Zudem geschieht der Abwassertransport mit einer Geschwindigkeit von bis zu fünf Metern pro Sekunde und damit deutlich schneller als bei der konventionellen Gefälleentwässerung (Oldenburg et al. 2015).

Für größere Gebiete ist auch eine Aufteilung in einzelne Bereiche mit einer jeweils eigenen Unterdruckstation möglich (DWA-A 116-1 2005). Eine Unterdruckstation enthält Abwassertanks, Unterdruckpumpen und Abwasserpumpen. In der Unterdruckstation wird ein Unterdruck erzeugt, der bis zu den Hausanschlüssen bzw. den einzelnen Sanitärobjekten reicht (Oldenburg et al. 2015). Die Hausanschlussleitungen müssen manuell über ein Ventil absperrbar sein, um in Wartungsfällen oder zum Austausch von Absaugventilen ohne Unterdruck arbeiten zu können (DWA-A 116-1 2005).

Systemskizze

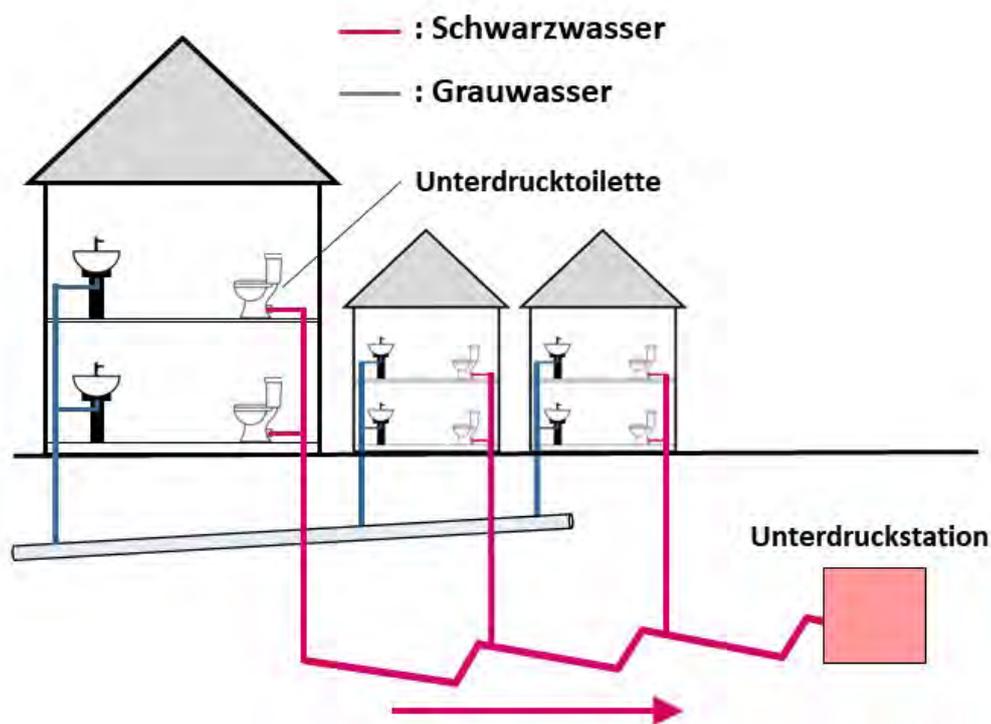


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau eines Unterdruckentwässerungssystems (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Zwar benötigen Unterdrucktoiletten keinen Spülkasten, jedoch ist der **Platzbedarf** aufgrund der notwendigen Unterdruckventile und Steuereinheiten vergleichbar mit dem Platzbedarf herkömmlicher Toiletten (Oldenburg et al. 2015).

Bei der Installation einer Unterdrucktoilette sind die Anforderungen des **Schallschutzes** zu beachten. Bei der Spülung entstehen durch das Einsaugen des Abwasser-Luft-Gemisches sowie durch den

Transport in den Unterdruckleitungen Soggeräusche (Schramm et al. 2019). Diese erreichen einen höheren maximalen Schallpegel als herkömmliche Spültoiletten. Allerdings ist die Zeit, in der das Maximum auftritt, sehr kurz. Über den gesamten Spülvorgang betrachtet sind Unterdrucktoiletten leiser als Spültoiletten. Die Geräuschbelastung unterscheidet sich aber auch zwischen den verschiedenen Herstellern von Unterdrucktoiletten und ist abhängig von den konstruktiven Gegebenheiten des Badezimmers (Schramm et al. 2019).

Bei Neuplanung oder Sanierung eines Stadtgebietes ist bei der Installation eines Unterdruckentwässerungssystems zu beachten, dass der Trinkwasserverbrauch sinkt. Dadurch ergeben sich möglicherweise geringere Fließgeschwindigkeiten und Stagnationen des Trinkwassers im Versorgungsnetz. Um die Trinkwasserqualität aufrecht halten zu können, sollte daher eine geringere Dimensionierung des Trinkwasserleitungsnetzes in Betracht gezogen werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, ob Löschwasser für die Feuerwehr über das Trinkwassernetz oder über Löschwasserspeicher bereitgestellt wird (DWA-A 272 2014).

Der **Rohrquerschnitt** einer Unterdruckleitung für den häuslichen Bereich mit maximal zehn Unterdrucktoiletten liegt in der Regel bei 50 mm (Oldenburg et al. 2015). Aufgrund dieses geringen Querschnitts sind Unterdrucksysteme empfindlich gegenüber unsachgemäßer Behandlung. Verstopfungen und Ablagerungen können leichter entstehen. Durch eine verkleinerte Abflussöffnung der Toilette (32 - 42 mm, Oldenburg et al. 2015) kann dem entgegengewirkt werden (Schramm et al. 2019). Es ist auch möglich, den Rohrquerschnitt innerhalb des Vakuumleitungsnetzes zu verändern. Allerdings darf der Rohrquerschnitt in Richtung der Unterdruckstation nur vergrößert werden und innerhalb des Leitungsnetzes nicht von einem größeren auf einen kleineren Rohrquerschnitt gewechselt werden (Mohr et al. 2016). Für weitere Informationen zur Planungs- und Bauweise ist auf das „Handbuch Unterdruckentwässerung“ (Oldenburg et al. 2015) sowie auf das Skript „Guideline: Vacuum sewer systems“ (Mohr et al. 2016) zu verweisen.

Norm/Regelwerk	Titel
DIN EN 16932-1 (2018)	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Pumpsysteme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN EN 16932-3 (2018)	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Pumpsysteme - Teil 3: Unterdruckentwässerungssysteme
DWA-A 116-1 (2005)	Besondere Entwässerungsverfahren - Teil 1: Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
DIN EN 752 (2017)	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement
Oldenburg et al. (2015)	Handbuch Unterdruckentwässerung: Ein Leitfaden für die Installation in Gebäuden
Mohr et al. (2016)	Guideline: Vacuum sewer systems
DWA-A 272 (2014)	Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS)

Aufwand und Kosten

Die Benutzung einer Unterdrucktoilette bedeutet für den Anwender keinerlei Umstellungen im Vergleich zu einer herkömmlichen Spültoilette und auch der Reinigungsaufwand ist vergleichbar. Aufgrund der kleineren Rohrgröße einer Unterdruckentwässerungsleitung ist es im Vergleich zur Spültoilette mit Schwerkraftentwässerung noch wichtiger, die Toilette sachgemäß zu benutzen, da unsachgemäß in die Toilette gegebene Gegenstände schnell zu Verstopfungen führen. Unterdrucktoiletten sollten je nach Herstellerangaben regelmäßig gewartet werden. Gummidichtungen, Muffen oder Verbindungsschläuche sind hohen Belastungen durch Alterungsprozesse, Vibrationen und Bauarbeiten im Gebäude ausgesetzt. Eine Dichtigkeitsprüfung sollte daher alle fünf Jahre durchgeführt werden. Unterdruckventile, Steuer- und Regeleinheiten sollten eine Lebensdauer von ca. 100 000 Spülgängen erreichen. Dies entspricht einer Nutzungszeit von ca. 11 bis 14 Jahren im Privathaushalt. (Oldenburg et al. 2015)

Laut Hamburg Wasser (2017) werden im Hamburg Water Cycle© durch den Einsatz von Vakuumtoiletten bei durchschnittlich sechs Spülungen pro Person und Tag bei einem Haushalt mit vier Personen im Jahr etwa 44 m³ Trinkwasser gespart. Dadurch ergibt sich eine jährliche Ersparnis von etwa 170,00 € für Wasser und Abwasser (Stand 2017, Wasserpreis: 1,85 €/m³ und Abwassergebühr 2,11 €/m³).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/Toilette	€/E(Unterdruck system)	€/((E·a)(Unterdrucksystem)
min			min
max	1 750		max
üblich	906,75	680	üblich 4,46

Hinweis:

Die Kosten für eine Unterdrucktoilette variieren je nach Modell und Hersteller. Das Modell "EcoVac" von Wostman SE kostet ab 1 750 € netto. In den Steckbriefen der Software SAMPSONS (Schütze et al. 2019) werden die Kosten im Mittel mit 906,75 € beziffert. Hinzu kommen 70 € Installationskosten. In de Graaf (2017) betragen die einwohnerspezifischen Kosten der Sanitärsysteme innerhalb der Gebäude 654 €/E. Für das Unterdrucksystem außerhalb der Wohngebäude werden 680 €/E kalkuliert. Die Wartungskosten liegen bei 4,46 €/(E·a).

Weitergehende Hinweise

Hersteller (Auswahl):

- Aqseptence Group GmbH (Unterdrucksysteme und Unterdrucktoiletten)
- Qua-vac Deutschland GmbH (Unterdrucksysteme)
- EVAC Headquarters, Finnland (Unterdrucksysteme und Unterdrucktoiletten)
- Steinbach Ingenieurtechnik GmbH (Unterdrucksysteme und Unterdrucktoiletten)
- VAB VakuumanlagenBau GmbH (Unterdrucksysteme)

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Schmutzwasser	Über Unterdruck abgeleitetes Schwarzwasser kann anaerob behandelt werden. Es kann kein Schwarzwasser durch Leckagen in die Umwelt gelangen.	
Baustoffe	Kleinere Rohleitungen benötigen weniger Baumaterialien.	
Energie		Durch die Unterdruckstation erhöht sich der Energiebedarf im Quartier.

Kombinationsmöglichkeiten

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Hochkonzentriertes Schwarzwasser kann anaerob behandelt werden.	Es entsteht ein höherer Energiebedarf.
Durch geringeren Spülwasserbedarf wird Trinkwasser eingespart.	Einer Unterdruckstation ist nötig.
Der Materialbedarf für das Leitungsnetz ist geringer als bei einer Schwemmkanalisation.	
Das System ist gefälleunabhängig.	
Schwarzwasser kann nicht aus dem Kanalnetz in die Umwelt gelangen.	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Jenfelder Au	Hamburg	Deutschland	Im Quartier Jenfelder Au in Hamburg wird der Hamburg Water Cycle® umgesetzt. Die verschiedenen Stoffströme (Grauwasser, Schwarzwasser, Regenwasser) werden getrennt abgeleitet, um Nährstoffe und Energie zurückzugewinnen. Durch Unterdrucktoiletten und ein Unterdruckkanalisationssystem wird das Schwarzwasser nur geringfügig durch Spülwasser verdünnt. Es sind ca. 2 000 Bewohner an das Kanalisationssystem angeschlossen (Oldenburg et al. 2015).
H+ Oceanhamnen	Helsingborg	Schweden	In Helsingborg werden auf einem ehemaligen Industrie- und Hafengelände Wohnungen und Bürogebäude geschaffen. In den Gebäuden werden Unterdrucktoiletten eingesetzt und es wird ein Unterdruckkanalisationsnetz errichtet. Bis 2035 sollen auf dem 100 ha großen Gelände Wohneinheiten für bis zu 10 000 Einwohner entstehen. Die erste Bauphase für 320 Apartments und 1 800 Einwohner hat 2017 begonnen. Seit 2021 ist der erste Teil der Anlage in Betrieb. (Kisser et al. 2020; Skambraks et al. 2017).
Noorderhoek	Niederlande	Sneek	Während der Umstrukturierung des Stadtteils Noorderhoek in Sneek wurde 2011 ein neues Sanitärkonzept umgesetzt. Über ein Unterdrucksystem mit Unterdrucktoiletten werden die Küchenabfälle und Schwarzwasser getrennt vom Grauwasser gesammelt. Das Grauwasser wird in einer separaten Anlage aufbereitet und die im Grauwasser enthaltene Wärme zurückgewonnen.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Doppel-Inliner-Verfahren

KURZINFORMATION

Mit dem Doppel-Inliner-Verfahren kann in Bestandsgebäuden eine Stoffstromtrennung des Abwasserstroms in Schwarz- und Grauwasser erfolgen ohne ein neues Leitungsnetz verlegen zu müssen. In einem bestehenden Rohr wird eine Unterteilung mittels Doppel-Inliner hergestellt (Veser und Londong 2017).

Umsetzungsbeispiel

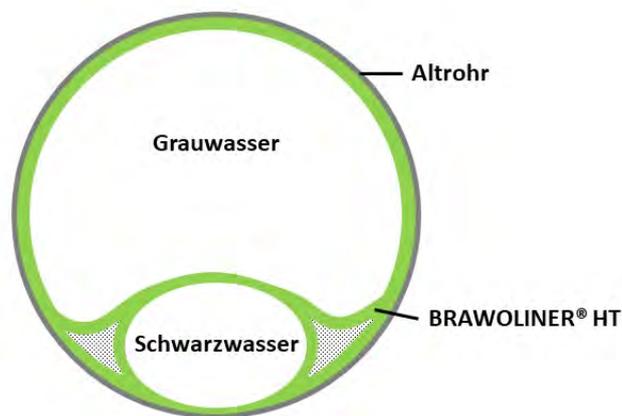


Abb. 1: Querschnitt eines Doppel-Inliners (eigene Darstellung)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|---|--|
| Wasser | <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| | <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| | <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| | <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |

	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|---|--|-----------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input type="checkbox"/> Quartier |
|---|--|-----------------------------------|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

0 m ² /EW	Min: 70	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: 100	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 70	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf ist nicht größer als die bisher vorhandenen Rohrleitungen an Fläche einnehmen. Voraussetzung für eine lange Nutzungsdauer ist eine hohe Verarbeitungsqualität (Palaske 2008).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Für die Trennung von Schwarz- und Grauwasser im Bestand kann das sog. **Brawoliner®-Verfahren** genutzt werden. Dieses Verfahren ist zur Inversion kleiner Leitungsquerschnitte geeignet und das einzige Verfahren, welches eine bautechnische Zulassung für den Hochbau zur Inversion kleiner Leitungsquerschnitte hat.

Für die Inversion ist ein **Trägerschlauch** erforderlich, welcher von außen mit einer temperaturbeständigen Folie beschichtet und mit einem Epoxidharz befüllt wird (ca. 0,5 kg/lf. m). Der Trägerschlauch besteht aus einem Gewebe und wird rund gestrickt. Der Schlauch hat keine Nähte, sodass keine dicken Falten bei der Inversion von Bögen und Versätzen entstehen können.

Aufgrund der guten Elastizität des Materials sind Aufweitungen bis zu 20 mm möglich. Dadurch kann sich der Schlauch kleinen Querschnittsänderungen und Biegungen gut anpassen. Nach der Befüllung des Schlauches mit Epoxidharz wird der Schlauch durch eine Imprägnieranlage gezogen, welche eine Walze enthält. Dadurch wird eine gleichmäßige Wandstärke des Liners erreicht. Die äußere Beschichtung sorgt dafür, dass das Epoxidharz im Trägerschlauch verbleibt und dort vom Gewebe aufgenommen wird. Um den Liner in das Rohr einbringen zu können, wird der Schlauch in einer Inversionstrommel aufgewickelt. Über die Inversionstrommel wird der Schlauch unter Druckluft gesetzt und dann im Umstülperverfahren in das Rohr eingebracht. Sobald das Epoxidharz ausgehärtet ist (mittels Wasser, Luft oder Licht), sind alle Undichtigkeiten behoben und das Rohr ist in vollem Umfang nutzbar.

Durch eine **Doppelinversion** kann das Bestandsrohr in zwei Leitungen unterschiedlicher Größe für jeweils Grau- und Schwarzwasser unterteilt werden. Die kleinere der beiden Leitungen wird für den Schwarzwassertransport eingesetzt, die größere Leitung passt sich an das Schwarzwasserrohr an und transportiert das Grauwasser. Dabei wird die gesamte Querschnittsfläche des Bestandsrohres ausgenutzt und blasenfrei ausgekleidet.

(Veser und Londong 2017)

Systemskizze

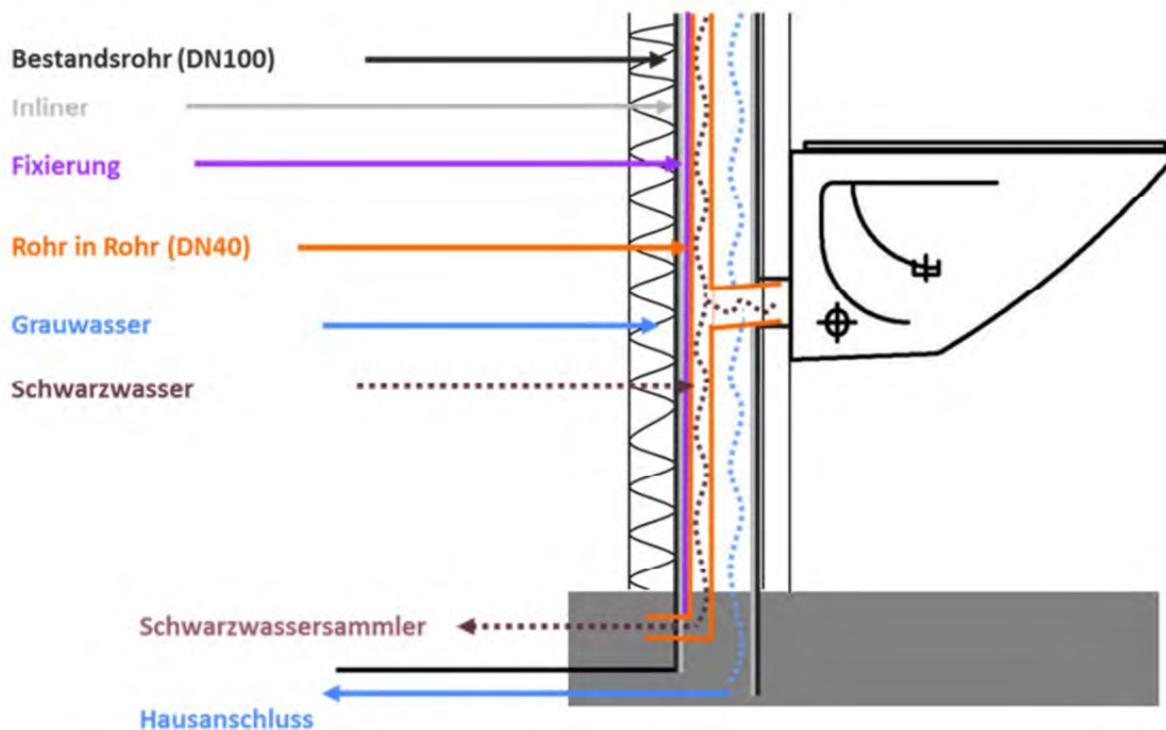


Abb. 2: Ideenskizze zur Leitungstrennung im Bestand (Veser 2015)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Für die Anwendung des Doppel-Inliner-Verfahrens ist kein zusätzlicher Platzbedarf erforderlich, da das Verlegen einer zusätzlichen Rohrleitung für die Stoffstromtrennung entfällt. Als Materialien werden

Polyester-Strümpfe sowie Epoxidharz verwendet (Schulz et al. 2019). Die erforderliche DIBt-Zulassung für die Sanierung von Abwasserleitungen innerhalb von Gebäuden liegt für das Brawoliner®-System vor.

Aufwand und Kosten

Der Arbeitsaufwand zur Verlegung eines Doppel-Inliners ist im Vergleich zur Errichtung einer Rohrleitung in offener Bauweise gering. Die Erhärtung des Epoxidharzes dauert je nach Art des Harzes und vorherrschender Temperatur zwischen 30 min und 24 Stunden. Wird der Liner während des Aushärtungsprozesses erwärmt, kann die Aushärtezeit deutlich verringert werden.

Die Investitionskosten belaufen sich auf Kosten für Material und Verlegung sowie auf die Kosten für einen Schwarzwasser- und Grauwasseranschluss. Ein Schwarzwasseranschluss kostet ca. 50 €/Stück, ein Grauwasseranschluss liegt bei 130,00 €/Stück. Die Material- und Einbaukosten betragen 30 €/lfd. m bis DN 200. Somit sind die Anschlüsse für Grau- und Schwarzwasser der höchste Kostenpunkt beim Einsatz des Doppel-Inliner-Verfahrens (Schulz et al. 2019). Die Liner können eine Lebensdauer von ca. 70-100 Jahren erreichen und sind somit sehr beständig. Voraussetzung dafür ist eine hohe Verarbeitungsqualität (Palaske 2008).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/SW- Anschluss	€/GW- Anschluss	€/lfd. m	
min				min
max				max
üblich	50,00	130,00	30,00	üblich

Weitergehende Hinweise

Hersteller:

- Brawoliner-Verfahren: Brawo-Systems - KOB GmbH Kaiserslautern
- SoltaLiner, Röders Textiles: Gebr. Röders AG, Soltau

Ökobilanzielle Bewertung

Zum Doppelinliner ist uns zur Zeit keine Ökobilanz bekannt, es ist aber davon auszugehen, dass die Einsparung an Emissionen durch NASS die Emissionen durch den Materialaufwand für die Produktion des Doppelinliner übersteigen.

Kombinationsmöglichkeiten

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Die Sanierung von Rohrleitungen erfolgt ohne Graben außerhalb von Gebäuden, sodass keine Lärmbelästigung und keine Verkehrsbehinderung entstehen.

Es werden im Gebäude und im Erdreich keine anderer Leitungen gefährdet.

Das Verfahren ist günstiger als eine offene Bauweise bzw. einem Vollaustausch der Rohre.

Das Verfahren ist für alle Rohrmaterialien geeignet.

Eine Sanierung kann auch im bewohnten Zustand eines Hauses stattfinden.

Das Verfahren ist platzsparend, da keine zweite Rohrleitung verlegt werden muss.

Nachteile

Es besteht die Möglichkeit der Bildung von kleinen Falten im Rohrsystem und dadurch möglicherweise schlechtere Ableitung des Schwarzwassers.

Es gibt wenig Erfahrung mit der Umsetzung des Verfahrens.

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Umwelt-Campus Birkenfeld	Birkenfeld	Deutschland	Auf dem Umwelt-Campus Birkenfeld wird ein neuartiges Sanitärkonzept in eine bestehende Struktur integriert (Eller und Vesper 2019). Dazu wird in einem Wohnheim ein Doppel-Inliner in die bestehenden Abwasserrohre eingezogen. Das Grauwasser wird weiterhin über Schwerkraft entwässert, während das Schwarzwasser an ein Vakuumentwässerungssystem angeschlossen wird (Wißmann et al. 2019). In dem Wohnheim sind 36 Wohneinheiten vorhanden. Von 22 Toiletten sind bisher 15 Toiletten (Stand 2019) an das Unterdrucksystem angeschlossen (Eller und Vesper 2019).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Semizentrale Abwasserwärmenutzung

KURZINFORMATION

Abwasser weist ein hohes Wärmepotential auf. Die im Abwasser enthaltene Wärmeenergie kann semizentral - d.h. aus dem Entwässerungssystem - entzogen werden, um sie anschließend in der Warmwasseraufbereitung oder für Heizzwecke unterstützend einzusetzen.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Anlage zur Wärmerückgewinnung im Kanalsystem (Klinger und Partner GmbH, Stuttgart)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|---|--|
| Wasser | <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| | <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| | <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| | <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| | <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |
| Baustoffe | | |

- Verwertung Beseitigung
 Recycling

Energie

- Energiebereitstellung Energieverteilung
 Energieverbrauch Energiespeicherung
 Elektrizität Wärme
 Brennstoffe

Fläche

- Klimaanpassung Gesundheitsschutz
 Erhalt d. Grunddaseinsfunktion Naturschutz
 Klimaschutz

Legende:

- kein Wirkpotential Wirkpotential vorhanden geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude Grundstück Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	30	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max:	50	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Die Lebensdauer der Wärmetauscher liegt bei 30 bis 50 Jahren (Buri und Kobel 2004). Für die Wärmepumpen wird die Lebensdauer auf 20 Jahre geschätzt (Erb et al. 2004).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Die Abwasserwärmenutzung gilt als sehr umweltfreundlich und trägt zur Senkung der Umweltbelastungen bei (Müller und Butz 2010). Ungefähr ein Drittel des durchschnittlichen täglichen Wasserverbrauchs einer Person werden als Warmwasser z. B. für die Körperpflege benötigt. Um Frischwasser zu erwärmen, wird Energie benötigt, die dem Wasser in einer Warmwasseraufbereitung zugeführt wird. Durch die Erwärmung des Frischwassers erhält dieses ein hohes Wärmepotential, welches bisher kaum genutzt wird. Das erwärmte Wasser hat meist nur eine geringe Nutzungsdauer und fließt anschließend mit noch hoher Abwärme in den Abfluss. Abwasserleitungen stellen bei Gebäuden heutzutage ein großes Wärmeleck dar. Bei Neubauten mit KfW-Standard gehen rund 15 % der thermischen Energie über die Abwasserleitungen verloren

(DWA-M 114 2020).

Mit der Wärme im Abwasser können theoretisch 10 % der Gebäude in Deutschland versorgt werden (DWA-M 114 2020). Nach Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte könnte bereits heute der Wärmebedarf jedes 20. Gebäudes mit Abwasserwärmenutzung mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand gedeckt werden (Müller und Butz 2010). Die spezifisch nutzbare Wärmeenergie im Abwasser bei einer Abkühlung von 2 Kelvin beträgt rund $2,3 \text{ kWh/m}^3$ (Knies 2015).

Die Methoden der semizentralen Abwasserwärmenutzung funktionieren mittels eines Wärmeübertragers aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit, welcher entweder im Kanal selbst eingebaut ist und vom gesamten Abwasserstrom überströmt wird oder als Bypass ausgebildet wird, durch den nur ein Teil des Abflussvolumenstroms fließt. In beiden Fällen wird die Wärme über ein Kühlmittel mittels einer Wärmepumpe entzogen. Die gewonnene Abwärme kann anschließend an ein naheliegendes Gebäude oder an ein Nahwärmenetz abgegeben werden (DWA-M 114 2020). Die Wärmetauscherleistung liegt je nach verwendeter Technik (Doppelrohrwärmetauscher, Abwasserrohrwärmetauscher, Druckrohrwärmetauscher) und Rohrdurchmesser zwischen $0,4$ und $6,3 \text{ kW/m}$ (KASAG Swiss AG o. J.).

Die Wärmeüberträger der einzelnen Systeme sind für den Bürger oder Nutzer meist nicht zu sehen, da diese im Kanalnetz oder in dafür vorgesehenen nebenstehenden Gebäuden angeordnet sind. Anwohner werden durch den Betrieb dieser Technik nicht gestört, das Stadtbild nicht verändert und die Natur nicht beeinträchtigt (König 2016).

Systemskizze

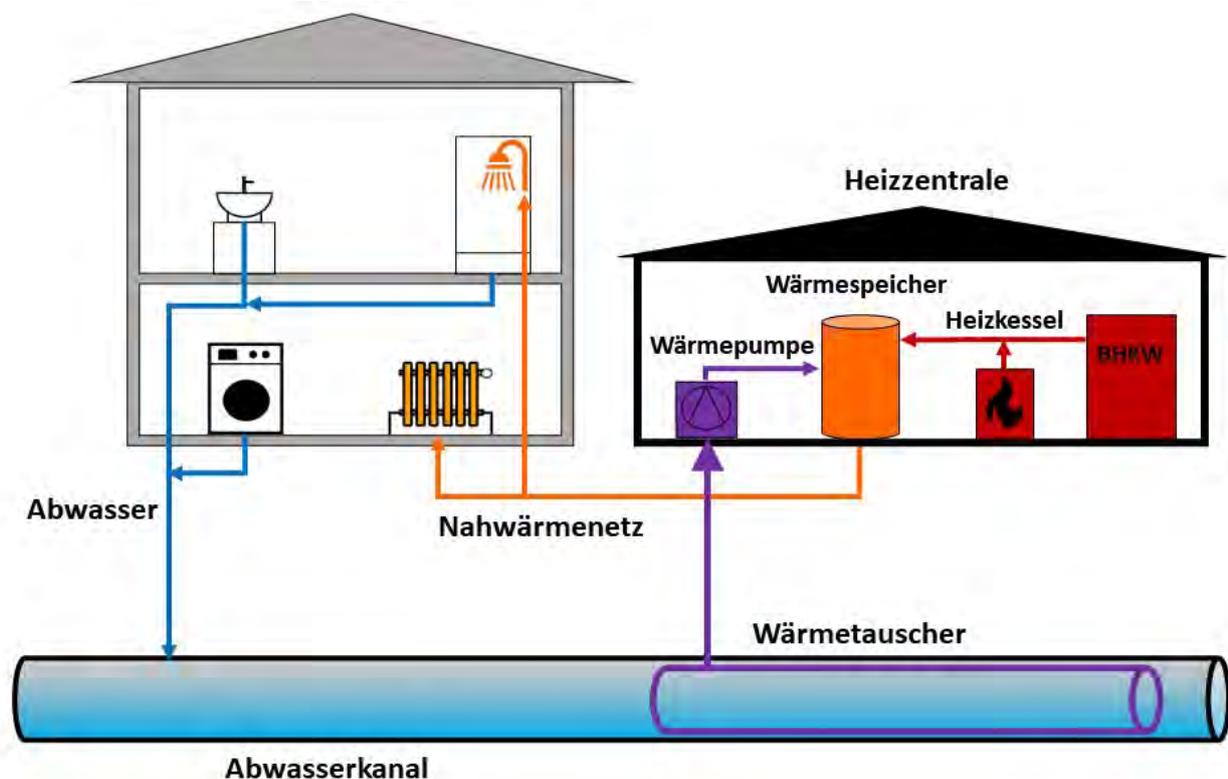


Abb. 2: Anlagenbeispiel einer Abwasserwärmenutzung aus einem Entwässerungssystem mit Nahwärmeverbund (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Wärmeüberträger können sowohl in neuen Kanalsegmenten integriert sein als auch nachträglich in bestehende Entwässerungssysteme eingebaut werden. Im Falle eines nachträglichen Einbaues ist zu beachten, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit nicht beeinträchtigt wird. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass sich der betroffene Kanalabschnitt im einwandfreien Zustand befindet. Auch Reinigungs- und Spülarbeiten dürfen durch den Wärmeüberträger nicht behindert werden. Bei werksseitig eingebauten Wärmeüberträgern gelten vom Grundsatz her dieselben Bedingungen. Bei Systemen mit Bypass, die nur mit einem Teilvolumenstrom arbeiten, werden ebenfalls noch Anforderungen an die Entnahme- und Einlaufstelle gestellt. Diese sind so auszubilden, dass sich keine Zonen mit erhöhten Feststoffablagerungen bilden. Gleich um welches System es sich handelt, muss der betroffene Kanalisationsabschnitt unter geltenden Vorschriften immer zugänglich sein. Ebenso ist eine nachteilige Beeinflussung der Abwassereigenschaften zu vermeiden. (DWA-M 114 2020)

Der minimale Abwasseranfall sollte bei Systemen im Entwässerungskanal, gemessen bei Trockenwetter, im Tagesmittel bei 15 L/s liegen (Müller und Butz 2010). Dieser ist bereits im Vorfeld zu ermitteln. Neben dem abzuführenden Volumenstrom spielt die Abwassertemperatur bei der Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung eine große Rolle. Je höher die zulaufende Abwassertemperatur ist, desto größer ist die mögliche Abkühlung und damit auch der mögliche Energieentzug. Hier muss beachtet werden, dass die Funktionsweise der biologischen Stufe der Kläranlage nicht durch zu niedrige Abwassertemperaturen beeinträchtigt wird. Die fortlaufende Funktion wird gewährleistet, indem man die resultierende Abwassertemperatur des Zulaufs der Kläranlage um nicht mehr als 0,5 K absenkt (DWA-M 114 2018).

Als besonders geeignet für die Abwasserwärmenutzung gelten Gebäude mit großem Wärmebedarf (Müller und Butz 2010). Hierfür eignen sich nicht allein Wohngebäude, sondern auch Gebäude wie Krankenhäuser, Gewächshäuser oder Sportanlagen. Objekte ab 100 kW Wärmeleistung gelten bereits als geeignet. Auch der Zusammenschluss mehrerer Gebäude zu einem Wärmeverbund ist möglich (Müller und Butz 2010).

Anlagen zur Abwasserenergienutzung sind grundlegend nicht genehmigungspflichtig (Stand 2016). Eine behördliche Genehmigung ist erst dann einzuholen, wenn in der Anlage ein Frostschutzmittel verwendet wird, welches eine potenzielle Gefahr für die Umwelt darstellt. Wird Frostschutzmittel verwendet, gelten für Rohrleitungen und das Wärmeüberträgermedium in der Wärmegewinnungsanlage die Anforderungen des § 62 Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Es wird empfohlen, im Austausch mit der zuständigen Behörde bei baulichen und betrieblichen Änderungen an der Abwasseranlage zu prüfen, ob diese einer Genehmigung bedürfen. Da es sich bei Abwasseranlagen um Anlagen zum Umgang mit wassergefährdeten Stoffen handelt, sind laut der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) bei Planung, Errichtung und Betrieb bundesweit einheitliche Sicherheitsstandards einzuhalten. Regionale Anforderungen an den Grundwasserschutz sind aus länderspezifischen Wasserschutzgebietsverordnungen zu entnehmen. (DWA-M 114 2018)

In Bezug auf das Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) gilt Abwasserwärme als Ersatzmaßnahme zu erneuerbaren Energien und kann somit eingesetzt werden, falls die Nutzung von erneuerbaren Energien nicht erwünscht ist. Die mit dem Gesetz einhergehende Nutzungspflicht (vgl. EEWärmeG 2015 §3) gilt dann als erfüllt, wenn mindestens 50 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs aus Abwärme oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen stammen (vgl. EEWärmeG §7 Abs. 1).

Norm/Regelwerk	Titel
DWA-M 114 (2020)	Abwasserwärmenutzung
WHG	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdeten Stoffen
EEWärmeG	Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien
Hamann (2015)	Grundlagen der Abwasserwärmenutzung: Leitfaden für Architekten, Ingenieure und Stadtplaner
BWP (2019)	Ratgeber Energie aus Abwasser - Heizen und Kühlen mit der Energie aus dem Untergrund - Grundlagenwissen und Praxistipps
Buri und Kobel (2005)	Energie aus Abwasser - Leitfaden für Ingenieure und Planer
DBU (2009)	Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauträger und Kommunen
Nolde (2016)	Steigerung der Energieerträge bei der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser

Aufwand und Kosten

Bei den Investitionskosten für Anlagen zur Abwasserwärmenutzung gibt es drei Hauptbestandteile. Die Kosten variieren je nach Anlagengröße und Randbedingungen. Die folgenden Richtwerte sind laut für eine erste Abschätzung geeignet. Die Kosten für den Wärmeüberträger, inkl. Planung, Herstellung, Anlieferung, Einbau sowie Nebenleistungen wie Wasserhaltung, Verkehrssicherung, Druckprüfung usw. belaufen sich auf 400 € - 1000 € pro kW Entzugsleistung. Die Verbindungsleitungen, welche den Wärmeüberträger mit der Heizzentrale verbinden, können mit 100 € - 200 € je m verlegtem Kanal angenommen werden. Diese Angaben gelten für unproblematische Bodenverhältnisse. Die Kosten für die Wärmepumpe hängen stark von dem eingesetzten Kältemittel sowie von der jeweiligen Anlagengröße ab. Je nach Heizleistung können hier Kosten im Bereich von 325 €/kW thermisch entstehen. Bei Wärmepumpen zur zusätzlichen Klimatisierung erhöhen sich die Kosten um 15 %, da hier eine umfangreichere Wärmepumpentechnologie gefordert ist. Neben den Investitionskosten entstehen auch laufende Kosten für den Kanalnetzbetreiber. Dieser muss eventuell neue Inspektions- und Montageschächte errichten. Auch häufigere Spülvorgänge können zu erhöhten Kosten führen. Wer die jeweiligen Kosten trägt, ist im Einzelfall zu klären. (DWA-M 114 2020)

Die Jahreskosten einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung belaufen sich laut Müller und Graf (2011) ohne Förderung auf 7,49 Cent/kWh, mit Förderung auf 6,65 Cent/kWh. Im direkten Vergleich dazu befinden sich Ölheizungen im Bereich von 8,00 Cent/kWh. Damit gilt die Energie aus Abwasser als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Ölheizungen (Müller und Graf 2011).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/kW (Wärmeübertrager)	€/lfd. m (Rohr)	€/kW (Wärmepumpe)	min max üblich	€/(kW·a) 5 9
min	400	100			
max	1 000	200			
üblich	325				

Hinweis:

Die Betriebskosten für Anlagen ab 100 kW Leistung liegen bei 5 bis 9 € pro kW und Jahr (Schinnerl et al. 2007).

Weitergehende Hinweise

Hersteller:

- ACO Haustechnik
- DAS
- De-Tec
- Franke Aquarotter GmbH
- Hansgrohe
- HEATREA SADIA
- Huber SE
- Joulia AG
- KASAG Swiss AG
- Kemco Systems
- LÄCKEBY
- Maximizer Systems
- Power-Pipe
- Q-Blue
- Rabtherm
- Recoup
- SHARC Energy Systems
- Uhrig
- Wagner
- Wasenco

Parameter**Wert**

Wassermenge

Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wird mindestens eine Wassermenge von 15 Litern pro Sekunde (Tagesmittelwert bei Trockenwetterabfluss) benötigt (DBU 2009).

Abwassertemperatur

Um eine größtmögliche Abkühlung und somit den größtmöglichen Energieentzug zu gewährleisten, sollte die Abwassertemperatur auch im Winter über 10°C liegen (DBU 2009).

Querschnitt des Kanals

Der Kanalquerschnitt sollte nach Möglichkeit über 1 000 mm betragen, um bauliche Maßnahmen zur Wärmeentnahme zu erleichtern (DBU 2009).

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien	Zielkonflikte
Schmutzwasser	Die Reduzierung der Abwassertemperatur darf den Betrieb der Kläranlage nicht negativ beeinflussen.
Energie	Mit dem Abwasser steht eine weitere Wärmequelle zur Verfügung.

Ökobilanzielle Bewertung

Für semizentrale Abwärmerückgewinnung sind keine Studien bekannt. Die Ökobilanz von dezentraler Abwasserwärmenutzung in einer Gastronomieküche zeigt einen Zielkonflikt zwischen abiotischen Ressourcen und Treibhausgasemissionen auf (Schestak et al., 2020). Die Rohre sind bevorzugt aus Polypropylengraphit als aus Kupfer auszulegen, da dies die Ökobilanz verbessern kann. Durch die Wärmerückgewinnung in der Dusche konnte erheblich CO₂ eingespart werden (Ip et al. 2018).

Literaturstellen

Schestak, I., Spriet, J., Styles, D., Williams, A.P., 2020. Emissions down the drain: Balancing life cycle energy and greenhouse gas savings with resource use for heat recovery from kitchen drains. J. Environ. Manage. 271. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110988>

Ip, K., She, K., Adeyeye, K., 2018. Life-cycle impacts of shower water waste heat recovery: case study of an installation at a university sport facility in the UK. Environ. Sci. Pollut. Res. 25. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0409-0>

Kombinationsmöglichkeiten

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Wärmespeicher](#)

[Wärmepumpen](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Wärmenetze](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Eine zusätzliche Versorgungssicherheit wird geschaffen.

Das Erdreich kann als Zwischenenergiespeicher genutzt werden.

Die Wärme wird dort zurückgewonnen, wo sie gebraucht wird.

Der Primärenergiebedarf wird reduziert.

Nachteile

Beim Kanalnetzbetreibers ist eine Genehmigung einzuholen.

Es entstehen zusätzliche Kosten durch Überwachung und Reinigung der verbauten Elemente.

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Yachthafen Speyer	Speyer	Deutschland	Am Speyerer Yachthafen entstehen fünf Villen mit einer Gesamtwohnfläche von 4700 m ² . Diese werden mit einer Kombination aus energiesparender Gebäudeausführung, Nutzwärmeerzeugung durch Wärmepumpen und Solarthermie ausgestattet. Ziel des Projekts ist die Nutzung lokaler Ressourcen wie Abwasser und die Minimierung des Primärenergiebedarfes und der CO ₂ -Emissionen.
TERROT AREAL Bad Cannstatt	Stuttgart	Deutschland	Bei dem TERROT AREAL in Bad Cannstatt handelt es sich um eine innerstädtische Revitalisierung eines ehemaligen Produktionsgeländes. Ein Ziel des Bauvorhabens ist die Reduzierung des Primärenergiebedarfs mittels baulichem Wärmeschutz, dem Einsatz intelligenter Technologien und Nutzung der aus Abwasser.
Anlage Bretten	Bretten	Deutschland	In Bretten wird Wärme aus dem Trockenwetterablaufs eines Regenüberlaufbeckens entzogen. Mit der entzogenen Wärme werden angrenzende Wohngebäude, ein Schulkomplex sowie eine Sporthalle mit einer Gaststätte versorgt.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Dezentrale Abwasserwärmenutzung

KURZINFORMATION

Abwasser weist ein hohes Wärmepotential auf. Die im Abwasser enthaltene Wärmeenergie kann dezentral - d.h. noch im Gebäude - entzogen werden, um sie in der Warmwasseraufbereitung oder für Heizzwecke unterstützend einzusetzen.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Nachträglich einbaubarer Wärmetauscher für die Dusche der Firma "Warmduscher" (Foto: Warmduscher GmbH)

Ressource

Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input checked="" type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input checked="" type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|---|--|-----------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input type="checkbox"/> Quartier |
|---|--|-----------------------------------|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: 20	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: 100	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Die Lebensdauer für Wärmepumpen liegt bei etwa 20 Jahren (Erb et al. 2004). Für Verrohrungen und Wärmetauscher können Lebenszeiten von 50 bis 100 Jahren angenommen werden (Menger-Krug et al. 2015).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Ungefähr ein Drittel des durchschnittlichen täglichen Wasserverbrauchs einer Person wird als Warmwasser z. B. für die Körperpflege benötigt. Um Frischwasser zu erwärmen, benötigt es Energie, die dem Wasser in einer Warmwasseraufbereitung zugeführt wird. Durch die Erwärmung des Frischwassers erhält dieses ein hohes Wärmepotential, welches bisher kaum genutzt wird. Das erwärmte Wasser hat meist nur eine geringe Nutzungsdauer und fließt anschließend mit noch hoher Abwärme in den Abfluss. Abwasserleitungen stellen bei Gebäuden heutzutage ein großes Wärmeleck dar. Bei Neubauten mit KfW-Standard gehen rund 15 % der thermischen

Energie über die Abwasserleitungen verloren (DWA-M 114 2020). Die Abwasserwärmenutzung gilt als sehr umweltfreundlich und trägt zur Senkung der Umweltbelastungen bei (Müller und Butz 2010).

Mit der Wärme im Abwasser können theoretisch 10 % der Gebäude in Deutschland versorgt werden (DWA-M 114 2020). Nach Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte könnte der Wärmebedarf jedes 20. Gebäudes mit Abwasserwärmenutzung mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand gedeckt werden (Müller und Butz 2010). Die spezifisch nutzbare Wärmeenergie im Abwasser bei einer Abkühlung von 2 Kelvin beträgt rund 2,3 kWh/m³ (Knies 2015).

Bei der dezentralen Abwasserwärmenutzung, auch gebäudeinterne Abwasserwärmenutzung genannt, wird die Abwärme bereits innerhalb eines Gebäudes oder einer Liegenschaft entzogen. Hierfür stehen zwei mögliche Verfahren zur Verfügung. Zum einen die direkte Trinkwassererwärmung mittels Wärmetauscher im Durchlaufprinzip (z.B. Duschtassen- und Fallrohrwärmetauscher) und zum anderen die Zwischenspeicherung des Abwassers in einem Speicher mit anschließendem Wärmeentzug durch eine Wärmepumpe. Die durch die Wärmepumpe gewonnene Abwärme kann unterstützend für Heizzwecke oder für die Trinkwassererwärmung eingesetzt werden (Wanner 2009). Bei der direkten Trinkwassererwärmung steht allein ein Vorheizen des ankommenden Frischwassers im Vordergrund, um so Kosten für die Trinkwassererwärmung einzusparen. Bei industriellen Prozessen mit konstantem Abwasseranfall ist es auch möglich, Anlagen im Durchlaufprinzip zu betreiben (DWA-M 114 2020). Für die Wärmerückgewinnung muss nicht der gesamte Abwasserstrom gesammelt oder werden. Der Teilstrom Grauwasser ist aufgrund seiner hohen Temperatur besonders für eine Wärmerückgewinnung geeignet.

Die Wärmeüberträger der einzelnen Systeme sind für den Nutzer meist nicht zu sehen. Sie befinden sich entweder in dafür vorgesehenen Technikräumen oder, bei Anlagen im Durchlaufprinzip, im häuslichen Bereich verbaut in der Wand oder unter/in der Duschtasse.

Systemskizze

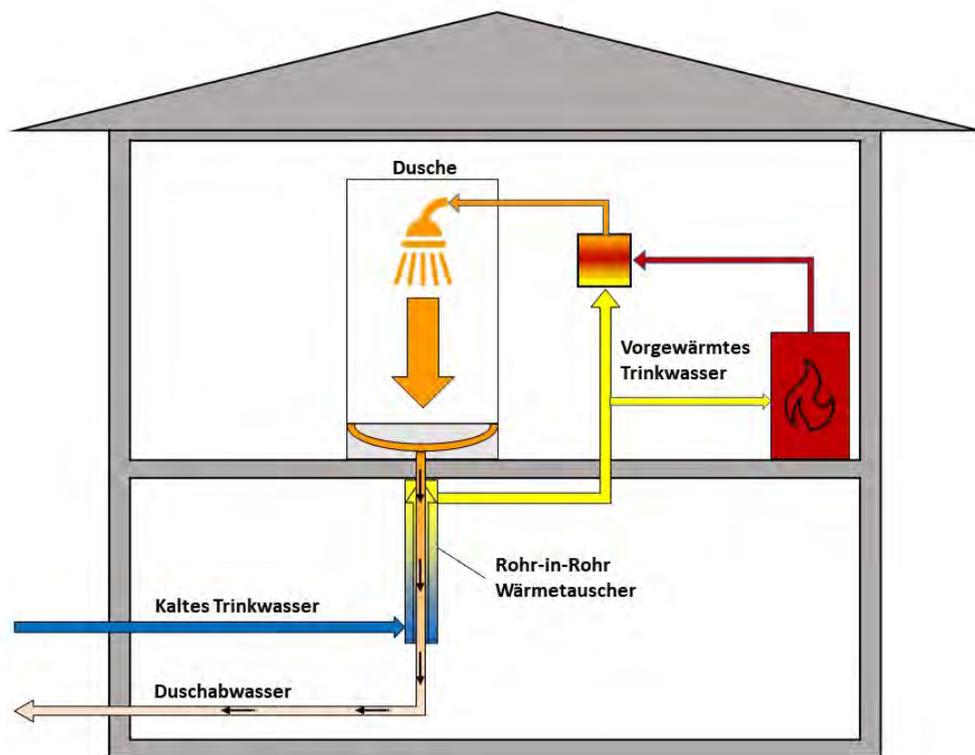


Abb. 2: Anlagenbeispiel einer dezentralen Abwasserwärmenutzung mit Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Die Wärmeüberträgermodule im Gebäude sollten ausschließlich an frei zugänglichen Abwasserleitungen installiert werden. Eine Beeinträchtigung des Abwasserflusses ist zu vermeiden. Im Falle einer Zwischenspeicherung im Gebäude ist dafür zu sorgen, dass die Verweilzeit des Abwassers im Sammelbehälter nicht zu hoch wird. Des Weiteren ist ein Bypass zu legen, durch den das Abwasser im Falle eines Wartungs- oder Havariefalls abgeleitet werden kann. Die ungehinderte Ableitung des Abwassers steht in jedem Fall im Vordergrund (DWA-M 114 2020).

Als geeigneter Anhaltspunkt für die Nutzung von gebäudeinterner Abwasserwärmenutzung im Wohnungsbereich gilt bei Systemen mit Zwischenpuffer eine Abwassermenge von 6 – 10 m³/d (DWA-M 114 2020). Dies entspricht dem Abwasseranfall von ca. 60 Personen oder ca. 25 Wohneinheiten. Dieser ist bereits im Vorfeld zu ermitteln. Bei einer Wärmerückgewinnung aus Grauwasser ist aufgrund der hohen Temperatur eine geringere Abwassermenge ausreichend. Systeme zur direkten Trinkwassererwärmung im Durchlaufprinzip unterliegen diesen Anhaltswerten nicht, da diese den kontinuierlichen, zeitgleich anfallenden Abwasserstrom nutzen, um ankommendes Wasser vorzuwärmen. Der Wärmeentzug sollte direkt an der Warmwasserquelle geschehen. Neben dem abzuführenden Volumenstrom spielt die Abwassertemperatur bei der Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung eine große Rolle. Je höher die zulaufende Abwassertemperatur ist, desto größer ist die mögliche Abkühlung und damit zusammenhängend auch der mögliche Energieentzug. Hier muss beachtet werden, dass die Funktionsweise der biologischen Stufe der Kläranlage nicht durch zu niedrige Abwassertemperaturen beeinträchtigt wird. Die fortlaufende Funktion wird

gewährleistet, indem die resultierende Abwassertemperatur des Zulaufs der Kläranlage um nicht mehr als 0,5 K abgesenkt wird (DWA-M 114 2020).

Als geeignet für die Verwendung einer dezentralen Anlage in Kombination mit einer Wärmepumpe gelten große Überbauungen, Spitäler, Bäder, Industrien usw. (Wanner 2009). Systeme wie Duschtassen- oder Fallrohrwärmetauscher können auch im Wohnungsbereich eingesetzt werden.

In Bezug auf das Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) gilt Abwasserwärme als Ersatzmaßnahme zu erneuerbaren Energien und kann somit eingesetzt werden, falls die Nutzung von erneuerbaren Energien nicht erwünscht ist. Die mit dem Gesetz einhergehende Nutzungspflicht (vgl. EEWärmeG 2015 § 3) gilt dann als erfüllt, wenn mindestens 50 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs aus Abwärme oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen stammen (vgl. EEWärmeG §7 Abs. 1).

Norm/Regelwerk	Titel
DWA-M 114 (2020)	Abwasserwärmenutzung
Brunk und Seybold (2014)	Dezentrale Abwasserwärmerückgewinnung zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
Nolde (2016)	Steigerung der Energieerträge bei der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser

Aufwand und Kosten

Die Investitionskosten für Anlagen zur gebäudeinternen Abwasserwärmenutzung variieren je nach Anlagentyp und -größe. Bei Systemen im Durchlaufprinzip fallen Kosten für den Wärmeüberträger selbst, die Installation und für Verbindungselemente an. Bei dem Duschrinnenwärmetauscher Joulia-Inline der Firma Franke ist mit einem Investitionskostenaufwand je nach Ausführung von 1 500 - 1 700 € zu rechnen. Produkte wie Duschröhrwärmetauscher sind aufgrund der weniger komplexen Technologie und des geringeren ästhetischen Anspruchs günstiger. Beispielhaft für diese Technologie ist das Duschröhr ECOshower der Firma Wagner Solar. Dieses liegt je nach Ausführung in einem Preissegment zwischen 540 - 640 €. Anlagen mit Zwischenspeicher benötigen zusätzlich noch eine Wärmepumpe. Die Kosten für die Wärmepumpe hängen stark von dem eingesetzten Kältemittel sowie von der jeweiligen Anlagengröße ab. Bei diesen Anlagen ist generell mit höheren Investitionskosten zu rechnen, da die verwendete Technik meist komplexer und der Arbeitsaufwand für Installation höher ist.

Die Installationskosten der verschiedenen Systeme sind stark von den Gegebenheiten vor Ort abhängig. Bei Sanierungsmaßnahmen ist mit einem Mehraufwand bedingt durch eventuelle Demontage von Altleitungen zu rechnen. Bei neu errichteten Gebäuden können die Anlagen direkt mit in die Gebäudeplanung einfließen.

Investitionskosten

Betriebskosten

€/Stück

min	525	min
max	2751	max
üblich	1000	üblich

Weitergehende Hinweise

Hersteller:

- ACO Haustechnik
- Franke Aquarotter GmbH
- Hansgrohe
- HEATREA SADIA
- Joulia AG
- KASAG Swiss AG
- LÄCKEBY
- Maximizer Systems
- Power-Pipe
- Q-Blue
- SHARC Energy Systems
- Wagner Solar
- Wasenco

Parameter

Wert

Abwassertemperatur	Um eine größtmögliche Abkühlung und somit den größtmöglichen Energieentzug zu gewährleisten, sollte die Abwärme möglichst nah an der Wärmequelle entzogen werden.
--------------------	---

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien

Zielkonflikte

Schmutzwasser

Die Absenkung der Abwassertemperatur darf den Betrieb der Kläranlage beeinträchtigen.

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz von dezentraler Abwasserwärmenutzung in einer Gastronomieküche zeigt einen Zielkonflikt zwischen abiotischen Ressourcen und Treibhausgasemissionen auf (Schestak et al., 2020). Die Rohre sind bevorzugt aus Polypropylengraphit und nicht aus Kupfer auszulegen, da dies die Ökobilanz verbessern kann. Bei der Wärmerückgewinnung in der Dusche konnte signifikante Einsparungen von CO₂ festgestellt werden (Ip et al. 2018).

Literaturstellen

Schestak, I., Spriet, J., Styles, D., Williams, A.P., 2020. Emissions down the drain: Balancing life cycle energy and greenhouse gas savings with resource use for heat recovery from kitchen drains. J. Environ. Manage. 271. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110988>

Ip, K., She, K., Adeyeye, K., 2018. Life-cycle impacts of shower water waste heat recovery: case study of an installation at a university sport facility in the UK. Environ. Sci. Pollut. Res. 25. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0409-0>

Kombinationsmöglichkeiten

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Wärmespeicher](#)

[Wärmepumpen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

CO₂-Emissionen und Primärenergie werden eingespart.

Nachteile

Es entsteht ein höherer baulicher Aufwand.

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Studentenwohnhe im OIKOS Freiburg (2008)	Freiburg	Deutschland	Im Studentenwohnheim OIKOS in Freiburg wurde eine Pilotanlage zum Grauwasserrecycling mit integrierter Wärmerückgewinnung betrieben. Aufbauend auf den gemessenen Ergebnissen wurde eine ökologische und ökonomische Bewertung des Forschungsvorhabens durchgeführt (König 2014).
Theodore von Kármán Haus	Aachen	Deutschland	Das Theodore von Kármán Haus ist ein Studentenwohnheim, in dem 246 Bewohner leben. Die Wärme des Abwassers wird über einen Abwasserspeicher mit einer Wärmepumpe zur Erwärmung des Trinkwassers genutzt (Brunk et al. 2013).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

MAP-Fällung

KURZINFORMATION

Abwasser enthält viele Nährstoffe, vorrangig Phosphor, Stickstoff, Kalium und Schwefel (EAWAG 2019). Einzelne Nährstoffe können gezielt zurückgewonnen werden. Bei der MAP-Fällung/Struvitfällung werden Urin oder Gärreste in einem Reaktor mit Magnesium zusammengeführt, um daraus Struvit als Feststoff auszufällen und so Phosphor zurückzugewinnen (Etter und Udert 2016).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Draufsicht auf eine Anlage zur Struvitfällung in Helsingborg (Foto: Hamse Kjerstadius)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input checked="" type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

- | | | |
|------------------|---|---|
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |
| | <input type="checkbox"/> Verwertung | <input type="checkbox"/> Beseitigung |
| | <input type="checkbox"/> Recycling | |
| Energie | <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung | <input type="checkbox"/> Energieverteilung |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch | <input type="checkbox"/> Energiespeicherung |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität | <input type="checkbox"/> Wärme |
| | <input type="checkbox"/> Brennstoffe | |
| Fläche | <input type="checkbox"/> Klimaanpassung | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz |
| | <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion | <input type="checkbox"/> Naturschutz |
| | <input type="checkbox"/> Klimaschutz | |

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | |
|--------------------------|------------|--|
| 0,004 m ² /EW | Min: 15 | <input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: 30 | <input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: 20 | <input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

Hinweis:

Der Flächenbedarf gilt für eine dezentrale Anlage. Je nach Aufstellungsort (Kläranlage oder im Quartier) kann ein Flächenbedarf von 0,004 bis 0,08 angenommen werden.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Während die Reichweite vorhandener Phosphorreserven aufgrund von großen Unsicherheiten mit 30 bis 300 Jahren angegeben wird, herrscht in der Fachwelt weitestgehend Einigkeit, dass die Qualität und Zugänglichkeit vorhandener Reserven weiter abnimmt und entsprechend die Kosten steigen werden (Cordell und White 2011). Die Phosphorfracht liegt im Urin bei 1,0 g/(E·d) und bei Fäzes bei 0,5 g/(E·d) (WSWU 2015). Die entstehende Gesamtmenge an Phosphor, die jährlich im zur Kläranlage fließenden Abwasser enthalten ist, beträgt 78 500 Mg. Von Cornel und Schaum (2009) wird das Rückgewinnungspotential von Phosphor auf Kläranlagen auf 10 % bis 40 % geschätzt. Da eine 100-prozentige Rückgewinnung nicht realistisch ist, kann ein

Substitutionspotential für Mineraldünger von 30 % bis maximal 50 % angenommen werden (Steinmetz 2016). Die Struvitfällung gilt als ausgereifte und erprobte Technologie zur Phosphorrückgewinnung (Vaneckhaute et al. 2017). Eine Zusammenstellung der großtechnischen Phosphorrückgewinnungsverfahren (auf Kläranlagen) wurde von Montag et al. (2015) und Desmidt et al. (2015) zusammengefasst.

Die **Struvitfällung oder MAP-Fällung** ist ein einfaches und schnelles Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor in Form von Magnesiumammoniumphosphat (MAP/Struvit). Struvit (Summenformel $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) ist ein Mineral, welches neben Phosphat (12,5 %) auch Magnesium (10,0 %) und Stickstoff (5,0 %) enthält (Etter und Udert 2016) und als Dünger eingesetzt werden kann (Römer 2013). Das bei der Struvitfällung produzierte Struvit weist dabei eine gute Pflanzenverfügbarkeit auf (Römer 2013). Eine Struvitfällung kann zur Rückgewinnung von Phosphor aus Urin oder Gärresten aus Schwarzwasser bzw. Abwasser stattfinden.

Der **Prozess zur Rückgewinnung von Phosphor aus Urin** kann vereinfachend wie folgt beschrieben werden: in einem Struvitreaktor wird Urin mit Magnesium zusammengeführt und anschließend gefiltert, um Struvit als Feststoff zu erhalten. Daneben entsteht phosphatfreier Urin, der weiterbehandelt werden muss. Daher sollte der Struvitreaktor mit weiteren Verfahren kombiniert werden. Vorteilhaft ist, dass der Struvitreaktor beliebig in Abhängigkeit des anfallenden Urins ein- und ausgeschaltet werden kann. Unterschieden werden kann zwischen händisch oder automatisch gesteuerten Struvitreaktoren. Bei manuell bedienten Reaktoren muss die Dosis von Magnesium nach einer Laboranalyse, die den Phosphorgehalt im Urin ermittelt, hinzugegeben werden. Bei automatisch laufenden Struvitreaktoren entfällt die Laboranalyse, da die Magnesiumdosis automatisch ermittelt wird. Dadurch kann eine Überdosierung und damit einhergehende Verschwendung des Magnesiums vermieden werden. Für 1 L Urin müssen 0,4 g Magnesium hinzudosiert werden (Etter und Udert 2016).

Die MAP-Fällung kann ebenfalls zur **Rückgewinnung von Phosphor aus Schwarzwassergärresten** angewandt werden. Die Firma DeSah (NL) vertreibt das Verfahren. Dabei wird ein von unten nach oben durchströmter Reaktor verwendet, welcher im Reaktordesign angepasst wurde, um kleine Abwassermengen behandeln zu können. Beim Desah-Verfahren dient der Struvitreaktor zu der Rückgewinnung von Phosphat aus Schwarzwassergärresten.

Für die **Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser, Klärschlamm oder Gärresten** kommen verschiedene Verfahren zur Anwendung. Bei dem Ostara PEARL-Prozess ist der eingehende Stoffstrom Schlammwasser. In einen Reaktor, welcher aufwärts durchströmt wird, wird Natronlauge gegeben, um den pH-Wert zu erhöhen. Durch die Zugabe von Magnesiumchlorid als Fällmittel bilden sich MAP-Kristalle, welche in dem Reaktor nach unten sinken, sobald sie eine bestimmte Größe erreicht haben (Montag et al. 2015). Nach dem sog. Berliner Verfahren wird aus dem Faulschlamm in einem zusätzlichen Reaktor zwischen Faulbehälter und Entwässerung durch Einblasung von Luft CO_2 ausgestrippt und Magnesiumchlorid als Fällmittel hinzudosiert. Dadurch bildet sich MAP, welches nach unten ausfällt. Das Verfahren wurde weiterentwickelt und wird heute als AirPrex-Verfahren vermarktet. In einem optimierten, trichterförmigen Reaktor wird das MAP ausgefällt, ständig abgezogen und anschließend einer Wäsche unterzogen (Heinzmann 2018).

Systemskizze

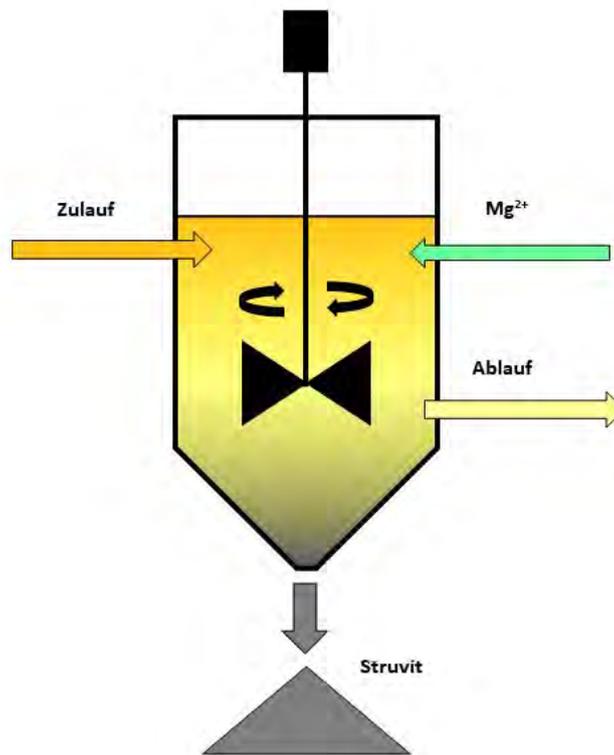


Abb. 2: Prinzipskizze einer Anlage zur Struvit-Fällung (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Mit der Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung von 2017 wurde gem. Art. 5 Nr. 4 die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlämmen und Klärschlammaschen für Klärschlamm mit mehr als 20 g Phosphor pro kg Trockenmasse verpflichtend festgelegt. Die bisherige Ausbringung (bodenbezogene Ausbringung) von Klärschlämmen ist damit nur noch bis 2029 für Kläranlagen mit bis zu 100 000 E und bis 2032 für Kläranlagen mit bis zu 50 000 E erlaubt (AbfKlärVNOV 2017).

Bezüglich der Ausbringung von Struvit als Dünger sind EU-Vorschriften zu beachten. Alle Düngemittel, die als EG-Düngemittel im Anhang der EU-Verordnung 2003/2003 genannt werden, sind in der EU frei verkehrsfähig. Struvit gilt bisher noch als verwerteter Abfall im Sinne der Richtlinie 2008/98/EG. Nach Ziffer 19 der EU-Verordnung 2019/1009 sollen bestimmte verwertbare Abfälle (z. B. Struvit), sofern sie die Anforderungen der EU-Verordnung für EU-Düngeprodukte erfüllen, nicht mehr als Abfall gelten und daher Zugang zum Binnenmarkt erhalten (EU-Verordnung 2019/1009 2019). Bisher ist Struvit aus Klärschlämmen oder Abwasser noch nicht für den Ökolandbau zugelassen, da die EU nur eine Ausbringung von Rohphosphaten erlaubt (Deter 2019).

Die rechtliche Grundlage für die Herstellung und das Inverkehrbringen von Düngemitteln in Deutschland bildet das Düngegesetz (DüngG). Über die Düngemittelverordnung (DüMV) werden die Anforderungen an die Düngemittel geregelt, sodass sich die Art, Menge und Zeit an dem Nährstoffbedarf der Pflanzen und des Bodens orientiert. Die speziellen Kriterien sind in der Düngeverordnung (DüV) verankert, welche das zentrale Element zur Einhaltung der Nitratrichtlinie darstellt. Um den Eintrag von Schwermetallen zu begrenzen, finden eine Reglementierung über die

DüMV, Bioabfallverordnung (BioAbfV) und Klärschlammverordnung (AbfKlärV) statt.

Nach § 2 Abs. 1 der DüMV gilt die Düngemittelverordnung nur für das Inverkehrbringen von Düngemitteln, die nicht als EG-Düngemittel bezeichnet sind. Das bedeutet, dass alle Düngemittel, die kein EG-Düngemittel sind, in Deutschland nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie den nationalen Vorgaben entsprechen. Alle EG-Düngemittel sind in Deutschland zulässig (Hartmann 2021).

Norm/Regelwerk	Titel
DüngG	Düngegesetz
DüMV	Düngemittelverordnung
DüV	Düngeverordnung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
AbfKlärV	Klärschlammverordnung

Aufwand und Kosten

Den höchsten Kostenanteil bei der Struvitfällung macht die Menge des chemischen Dosiermittels aus (Magnesium), welches dem Urin bzw. Gärresten hinzugefügt werden muss (Vaneckhaute et al. 2017).

Für eine Struvitfällung von Gärresten aus Schwarzwasser liegt der Fällmittelbedarf (Magnesiumchlorid) bei einer Ausbaugröße von 12 000 Einwohnern bei 0,5 kg/(E·a) und der Energieverbrauch bei ca. 2,5 kWh/(E·a) (Kjerstadius et al. 2017). Die Kosten für Magnesium ($MgCl_2$) liegen bei ca. 0,37 €/kg (Klein (2015), Egle et al. (2014a) nach Garstenauer (2018)), wodurch Kosten von 0,185 €/(E·a) entstehen. Der Bau für einen Schwarzwasser von 23 m³/d kostet ca. 64 000 € und die Betriebskosten liegen bei etwa 1 411 €/a (DeSah (2010) nach Thibodeau et al. (2014)). Das Verfahren kann für eine Mindestmenge von ca. 200 L/d ausgelegt werden (Desah). Der PO₄-P-Gehalt des Abwassers sollte mindestens 50 mg/L betragen.

Auf der Kläranlage Mönchengladbach-Neuwerk mit 995 000 EW können 1 500 m³/d Faulschlamm mit dem AirPrex-Verfahren behandelt werden. Dabei entstehen ca. 1 500 kg/d MAP (Ewert und Wagenbach 2014). Die Kosten für eine biologische Phosphorbehandlung mit anschließendem AirPrex-Verfahren belaufen sich auf 2 600 000 €/a. Für eine rein biologische Phosphorelimination betragen die Kosten 3 150 000 €/a und für eine chemische Fällung mit Eisenchlorid 3 200 000 €/a. Die niedrigeren Kosten bei Anwendung des AirPrex-Verfahrens entstehen durch Einsparungen bei der Schlammwässerung und der Schlamm Entsorgung sowie dem Verkauf von MAP (Ewert und Wagenbach 2014). Der Verkaufspreis für eine Tonne MAP (Struvit) liegt bei 60 – 80 €/t (Ewert und Wagenbach 2014).

Der elektrische Energiebedarf auf einer Referenzkläranlage beläuft sich für das PEARL-Verfahren bei 50 000 EW auf 5,0 – 6,5 kWh/kg Phosphor. Die Kosten betragen 5,3 – 7,5 €/kg Phosphor bei Erlösen von 2,3 – 3,5 €/kg Phosphor. Für 100 000 EW ist mit Investitionskosten von 1 000 000 – 1 700 000 € zu rechnen (BMVIT 2017). Bei Anwendung des Air-Prex-Verfahrens beträgt der elektrische Energiebedarf 7,5 kWh/kg Phosphor. Den Betriebskosten von 6,8 €/kg Phosphor stehen Erlöse von 2,3

- 3,5 €/kg Phosphor gegenüber. Die Investitionskosten für 100 000 EW belaufen sich auf 600 000 - 1 000 000 € (BMVIT 2017).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/E		€/(E·a)
min	10	min	0,3
max	100	max	1,4
üblich	25	üblich	1

Hinweis:

Die Spanne der Investitionskosten hängt von der Ausbaugröße der Anlage ab. Kleine Anlagen haben deutlich höhere spezifische Kosten (bis zu 100 €/E) als zentrale Anlagen auf Kläranlagen (< 10 €/E). Für die Wartung können 2 % der Investitionskosten angenommen werden. Bei dezentralen Systemen ab 1 000 E kann mit ca. 25 bis 100 €/E gerechnet werden. Mit Daten aus Thibodeau et al. (2014) können Betriebskosten von ca. 1 €/(E·a) kalkuliert werden. Die Kosten für Magnesium liegen dabei bei etwa 0,19 €/(E·a).

Weitergehende Hinweise

Hersteller (Struvite Recovery) nach Vaneckhaute et al. (2017):

- AIRPREX, Berliner Wasserbetriebe (Deutschland, DE)
- ANPHOS, Colsen (Niederlande, NL)
- CAFR, NALVA (DE)
- Ceres, Ceres Milieutechniek (Belgium, BE)
- NuReSys, Akwadok (BE)
- Nutritec, Sustec (NL)
- Pearl, Ostara (Kanada, CA)
- Phosnix, Unitika (Japan, JP)
- PHOSPAQ, Paques (NL)
- PRISA, Aachen University (DE)

Weitere Hersteller:

- Struvia, Veolia Water Technologies Deutschland GmbH, (DE)
- DeSah (NL)
- STUN, Low cost Struvite Reactor, Eawag (Beispiel eines einfachen Struvitreaktors) (Zandee et al. 2011) (Schweiz, SW)
- Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc. Europe (Großbritannien)

Ökobilanzielle Bewertung

Sena und Hicks (2018) zeigen in ihrer Publikation, dass verschiedene Studien zur MAP-Fällung zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Manche identifizieren die MAP-Fällung als CO₂-intensiver als Verfahren ohne diesen Verfahrensschritt, während z.B. die Eutrophierung sich in allen Szenarien

reduzieren konnte. Die Quelle der Emissionen waren meist mit steigendem Stromverbrauch und Infrastruktur assoziiert, sodass der Bezug von erneuerbaren Energien sowie recycelten Baustoffen die Ökobilanz verbessern kann.

Literaturstellen

Sena, M., Hicks, A., 2018. Life cycle assessment review of struvite precipitation in wastewater treatment. Resour. Conserv. Recycl. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.009>

Kombinationsmöglichkeiten

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Struvit zeichnet sich durch eine gute Pflanzenverfügbarkeit aus.

Das Verfahren hat einen geringen Energiebedarf.

MAP-Fällung ist ein chemisch-physikalisches Verfahren und hat daher hohe Prozessstabilität (BMVIT 2017).

Eine kontrollierte Ausfällung von MAP reduziert ungewollte Ablagerungen und Verstopfungen in Rohren und Behältern.

In vereinfachter Form kann das Verfahren auch in Entwicklungsländern eingesetzt werden.

Nachteile

Magnesium muss zusätzlich dosiert werden.

Für Struvit aus Urin oder Schwarzwasser gibt es rechtliche Hürden bei der Ausbringung von in der EU (Stand 2021).

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
De Nieuwe Dokken	Ghent	Belgien	Bei den Docks in Ghent entstehen 400 Wohneinheiten für ca. 1 265 Einwohner. Das anfallende Schwarzwasser wird über Vakuumtoiletten gesammelt und in einem anaeroben Reaktor mit einer nachfolgenden MAP-Fällung weiterbehandelt. Als Output entsteht Struvit. (Schipperskaai Development cvba 2017)
Rijkskantoor Rijnstraat 8	Den Haag	Niederlande	Seit 2017 sind in einem Bürogebäude für ca. 6 000 Mitarbeiter Urinale ohne Wasser installiert. Der anfallende Urin wird mittels MAP-Fällung in einem Struvitreaktor zu Struvit als Dünger verarbeitet. (Kisser et al. 2020)
Klärwerk Steinhof	Braunschweig	Deutschland	Auf dem Klärwerk Steinhof in Braunschweig wird auf einer Kläranlage mit ca. 350 000 EW zur Behandlung des anfallenden Prozesswassers aus der Schlammbehandlung eine dreistufige Phosphatfällung eingesetzt. Dabei wird eine Eliminationsrate von über 90 % erreicht (PFI 2021b).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche

KURZINFORMATION

Abwasser enthält viele Nährstoffe, vorrangig Phosphor, Stickstoff, Kalium und Schwefel (EAWAG 2019). Zur Rückgewinnung von Stickstoff kann eine Luftstrippung/Ammoniumstrippung zur Anwendung kommen, bei der mittels Lufteintrag aus Urin, behandeltem Abwasser oder Schwarzwassergärresten in einem Reaktor Stickstoff in Form von Ammoniak ausgetrieben und bei einer anschließenden sauren Wäsche als Ammoniumsulfat (Salz) gebunden wird.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche in Helsingborg (Foto: Hamse Kjerstadius)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input checked="" type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input checked="" type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: 15	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: 30	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Für die Maschinen- und Elektrotechnik wird eine Lebensdauer von 15 Jahren angenommen. Die Nutzungsjahre für die Baukonstruktion liegt bei 30 Jahren (Kjerstadius et al. 2017).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Mit 85 % - 90 % ist der größte Anteil an Stickstoff aus menschlichen Ausscheidungen im Urin enthalten und nur ein kleiner Teil in den Fäzes (EAWAG 2019). Die im menschlichen Urin enthaltene Nährstofffracht an Stickstoff liegt im Median bei 10,4 g/(E·d) und kann Spannweiten von 3,6 - 16,0 g/(E·d) aufweisen (Meinzinger und Oldenburg 2009).

Die **Ammoniumstrippung** ist ein Verfahren zur Rückgewinnung von Stickstoff in Form von Ammoniumsulfat. Ammoniumsulfat ist ein Salz der Schwefelsäure und kann als Dünger eingesetzt werden. Das Verfahren wird im Folgenden am Beispiel einer Kläranlage dargestellt. Die

Behandlung von Gärresten aus Schwarzwasser erfolgt auf die gleiche Weise. Das bei der Schlammmentwässerung anfallende Prozesswasser wird von oben in einen Reaktor, die sog. Strippkolonne gegeben. Dort wird durch Füllkörper eine größere Oberfläche erreicht. In den Reaktor wird von unten Luft eingeströmt, welche notwendig für die Herauslösung des Ammoniaks aus dem Abwasser ist. Ammoniak kann sich in Luft besser lösen als in Wasser, sodass Ammoniak aus dem Abwasser in die Luft übergeht (Grömping o. J.). Im unteren Teil der Strippkolonne sammelt sich das Ammoniak-freie Wasser an, welches in die Kläranlage oder andere Behandlungsstufen zurückgeleitet werden kann (Gusik o. J.). Die mit Ammoniak gefüllte Luft wird anschließend einer sauren Wäsche unterzogen. Dabei reagiert das Ammoniak in einer Wäscherkolonne mit hinzugegebener Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat. Die behandelte Luft kann über ein Gebläse wieder der Strippkolonne zugeführt werden und als Strippluft eingesetzt werden (Gusik o. J.). Das Verfahren funktioniert am besten bei leicht basischen pH-Werten, da sich das Ammonium-Ammoniak-Gleichgewicht zugunsten des Ammoniaks verschiebt (Gusik o. J.). Der basische pH-Wert kann z. B. durch Zugabe von Natronlauge oder Kalkmilch erreicht werden (RVT Process Equipment GmbH 2010).

Systemskizze

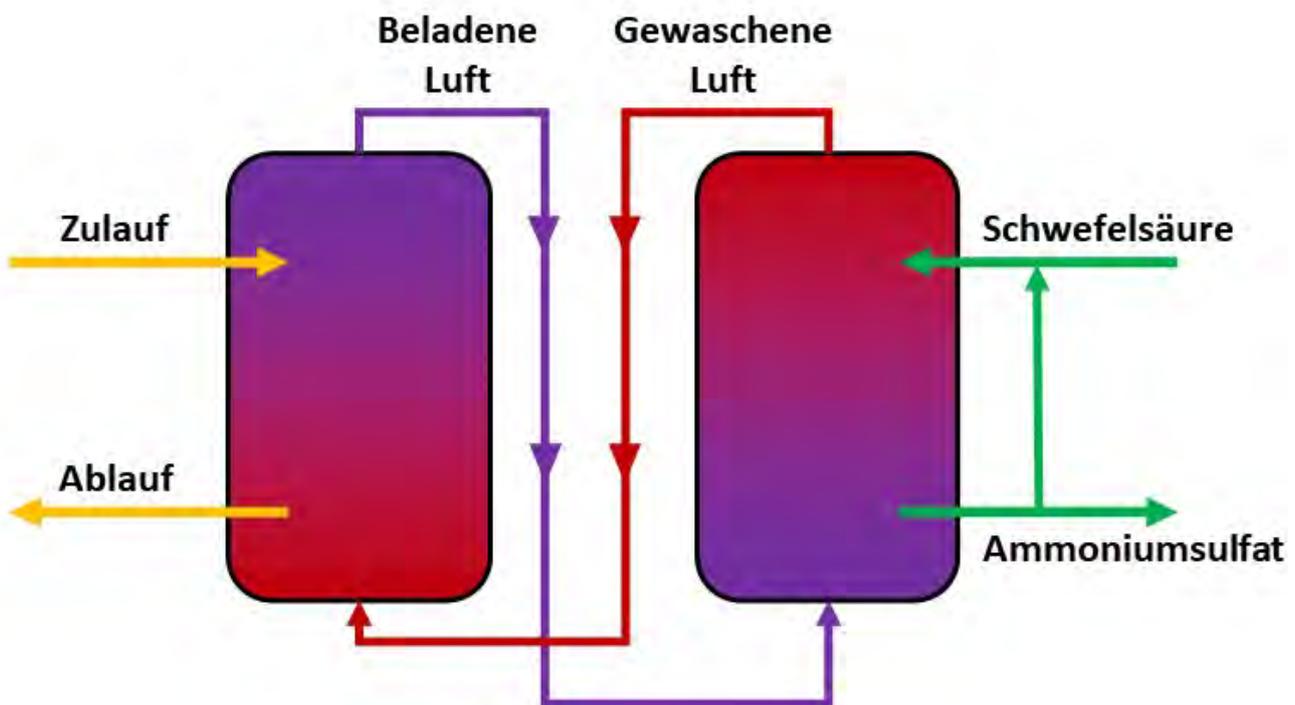


Abb. 2: Skizze einer Anlage zur Strippung mit anschließender saurer Wäsche (eigene Darstellung)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Bezüglich der Ausbringung von Ammoniumsulfat als Dünger sind EU-Vorschriften zu beachten. Alle Düngemittel, die als EG-Düngemittel im Anhang der EU-Verordnung 2003/2003 genannt werden, sind in der EU frei verkehrsfähig. Auf chemischem Wege gewonnenes Ammoniumsulfat wird in der Liste der EG-Düngemitteltypen als mineralischer Einnährstoffdünger aufgeführt und darf in der Landwirtschaft eingesetzt werden (EG Verordnung 2003/2003 über Düngemittel, Anhang 1).

Die rechtliche Grundlage für die Herstellung und das Inverkehrbringen von Düngemitteln in Deutschland bildet das Düngegesetz (DüngG). Über die Düngemittelverordnung (DüMV) werden die Anforderungen an die Düngemittel geregelt, sodass sich die Art, Menge und Zeit an dem Nährstoffbedarf der Pflanzen und des Bodens orientiert. Die speziellen Kriterien sind in der Düngeverordnung (DüV) verankert, welche das zentrale Element zur Einhaltung der Nitratrichtlinie darstellt. Um den Eintrag von Schwermetallen zu begrenzen, finden eine Reglementierung über die DüMV, Bioabfallverordnung (BioAbfV) und Klärschlammverordnung (AbfKlärV) statt.

Nach § 2 Abs. 1 der DüMV gilt die Düngemittelverordnung nur für das Inverkehrbringen von Düngemitteln, die nicht als EG-Düngemittel bezeichnet sind. Das bedeutet, dass alle Düngemittel, die kein EG-Düngemittel sind, in Deutschland nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie den nationalen Vorgaben entsprechen. Alle EG-Düngemittel sind in Deutschland zulässig (Hartmann 2021).

Norm/Regelwerk	Titel
DüngG	Düngegesetz
DüMV	Düngemittelverordnung
DüV	Düngeverordnung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
Boehler et al. (2015)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ recovery from liquid side streams

Aufwand und Kosten

Eine Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche für die Behandlung von Schwarzwassergärresten für eine 12 000 E Anlage benötigt etwa 7,7 kWh/(E·a) elektrische Energie und 80 kWh/(E·a) thermische Energie. Je nach Ausbaugröße kann die Wärmeenergie zurückgewonnen werden, sodass sich der thermische Energiebedarf auf 25 kWh/(E·a) reduziert. Hinzu kommen verschiedene Chemikalien: 20 kg/(E·a) Natriumhydroxid, 15 kg/(E·a) Schwefelsäure und 0,3 kg/(E·a) Zitronensäure (Kjerstadius et al. 2017). Mit spezifischen Chemikalienkosten ergeben sich 7,8 €/E·a für die Chemikalien (Kosten aus: Klein (2015), Egle et al. (2014a) nach Garstenauer (2018), Ebner (2017) nach Garstenauer (2018)). Mit 0,3 €/kWh (elektrisch) und 0,1 €/kWh (thermisch) ergeben sich spezifische Energiekosten in Höhe von 4,81 bis 10,31 €/E·a. Die Investitionskosten werden für eine Anlage mit 2 100 E auf etwa 190 €/E geschätzt. Werden Wartungskosten von 2 % der Investitionskosten berücksichtigt, ergeben sich einwohnerspezifische Betriebskosten von 16,41 bis 21,91 €/E·a. Bei 0,5 - 1,1 €/kg Stickstoff (siehe unten) liegen die Erlöse für Ammoniumsulfat einer Schwarzwasserbehandlungsanlage für etwa 3,65 kg/(E·a) zurückgewonnener Stickstoff bei 1,8 - 4,0 €/E·a.

Für die Ammoniumstrippung und saure Wäsche auf der Kläranlage wird eine Beispielanlage von 50 000 E betrachtet. Der elektrische Energiebedarf beläuft sich für die Referenzanlage auf 1,5 - 2,5 kWh/m³ und der thermische Energiebedarf beläuft sich auf 6,0 - 10,0 kWh/m³. Den Betriebskosten von 2,4 - 5,4 €/kg Stickstoff stehen Erlöse von 0,5 - 1,1 €/kg Stickstoff gegenüber. Die Investitionskosten betragen 800 000 - 1 000 000 €. Die Ammoniumstrippung erfordert einen großen Einsatz an Chemikalien. So müssen 5,0 - 5,2 kg Schwefelsäure pro kg Stickstoff eingesetzt werden und 5,0 - 8,0

kg Natronlauge pro m³ Abwasser. (BMVIT 2017)

Nach Vaneckhaute et al. (2017) belaufen sich die Investitionskosten der Behandlung von 800 m³/d Gärrest (2 400 mg NH₄-N/L) bei einer Wiedergewinnungsrate von 90 % auf 500 000 – 1 580 000 €, wenn der pH-Wert mit chemischen Mitteln eingestellt wird. Erfolgt die pH-Wert Einstellung physikalisch, belaufen sich die Investitionskosten auf 3 500 000 – 15 000 000 €. Dabei wird ein elektrischer Energiebedarf von 127 – 400 kW und ein thermischer Energiebedarf von 2 115 – 2 333 kW angesetzt. Die Menge an zugegebener Schwefelsäure beträgt 5,5 – 6,8 t/d bzw. 7,0 – 10,0 kg/m³ Gärrest. Wenn Natronlauge für die Anhebung des pH-Wertes verwendet wird, werden 6,0 – 6,5 kg Natronlauge pro m³ Gärrest benötigt. Insgesamt entstehen Betriebskosten in einer Spannweite von 1 400 000 – 2 500 000 €/a bzw. 4,5 – 8,6 €/m³ Gärrest (Vaneckhaute et al. 2017).

Für die Wartung können allgemein 2 % der Investitionskosten angenommen werden.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/E		€/kg (Stickstoff)	€/m ³ (Gärreste)	€/(E·a)
min	16				
max	200	min	2,4	4,5	16,41
üblich	190	max	5,4	8,6	21,91
		üblich			

Hinweis:

Die hier angegebenen Kosten sind von der Ausbaugröße der Anlage und den behandelten Abwasserströmen abhängig. Es wurden keine Erlöse berücksichtigt.

Weitergehende Hinweise

Herstellerbeispiele aus Vaneckhaute et al. (2017) mit Ergänzung:

- AMFER, Colsen (NL)
- ANAStrip, GNS (DE)
- Anaergia (Canada)
- Branch Environmental Corp (USA)
- Europe Environement (France)
- RVT Process Equipment (DE)
- Envimac Engineering GmbH (Envimac Engineering GmbH 2021)
- RVT Process Equipment GmbH (RVT Process Equipment GmbH 2021)

Ökobilanzielle Bewertung

Die meisten Ökobilanzen zur Wiederverwendung von Nährstoffen können Umweltauswirkungen reduzieren (Lam et al., 2020). Die Treibhausgasemissionen der Ammoniumstrippung stammen vor allem von der notwendigen Temperatur von 65°C und den dafür zu nutzenden Chemikalien (Kjerstadius et al. 2016). Diese können z. B. durch nicht fossile Wärmequellen reduziert werden.

Literaturstellen

Kjerstadius, H., Bernstad Saraiva, A., Spangberg, J., 2016. Can source separation increase sustainability of sanitation management?

Lam, K.L., Zlatanović, L., van der Hoek, J.P., 2020. Life cycle assessment of nutrient recycling from wastewater: A critical review. Water Res. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115519>

Kombinationsmöglichkeiten

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[MAP-Fällung](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Als chemisch-physikalisches Verfahren herrscht eine hohe Prozessstabilität.

Nachteile

Der Chemikalieneinsatz ist hoch.

Ablagerungen können in den Kolonnen aufgrund von Ausfällungen auftreten.

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
H+ Oceanhamnen	Helsingborg	Schweden	In Helsingborg werden seit 2017 320 Wohneinheiten für 1 800 Einwohner geschaffen. Das anfallende Schwarzwasser wird über Vakuumtoiletten abgeführt und in einem UASB-Reaktor behandelt. Anschließend wird das aus dem Reaktor ablaufende Wasser einer MAP-Fällung sowie einer Ammoniumstrippung unterzogen. Als Produkt entstehen Struvit und Ammoniumsulfat, welche zu einem Biodünger verarbeitet werden (Skambraks et al. 2017; Kjerstadius 2020).
Klärwerk Steinhof	Braunschweig	Deutschland	Auf dem Klärwerk Steinhof mit 350 000 EW wird das Prozesswasser aus der Schlammbehandlung mit einer Ammoniak-Strippung und anschließender saurer Wäsche behandelt. Als Produkt entsteht Diammoniumsulfat, welches direkt als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann (PFI 2021).

Kläranlage Wallau	Wallau	Deutschland	Auf der Kläranlage Wallau wird das Prozesswasser aus der Schlammbehandlung einer Ammoniumstrippung mit anschließender saurer Wäsche unterzogen. Der Stickstoff wird als Ammoniumsulfat gebunden, welches als Dünger in der Landwirtschaft oder in der Holz- und Lederindustrie eingesetzt werden kann (Grömping o. J.).
-------------------	--------	-------------	---

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

IV. Baustoffe

Gipsrecycling

KURZINFORMATION

Die Nachfrage nach dem Baustoff Gips ist in den letzten Jahrzehnten gestiegen und wird aktuell zu etwa 60 % mit Gips aus der Rauchgasentschwefelung (REA-Gips) als Nebenprodukt der Kohleverstromung gedeckt. Der restliche Anteil wird über Naturgipsvorkommen in Deutschland zur Verfügung gestellt. Aufgrund der voranschreitenden Energiewende, dem damit verbundenen Ausstieg aus der Kohleenergie und den nationalen Klimaschutzzielen wird die Versorgung mit REA-Gips mittel- und langfristig stark zurückgehen. Das Recycling von Gips ist deshalb ein wichtiger Baustein, um die Versorgung der Bauindustrie mit Gips auch weiterhin sicherstellen zu können.

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input checked="" type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

- kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

 Gebäude

 Grundstück

 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW

Min: k.A.

 Stand der Wissenschaft und Technik

Max: k.A.

 Stand der Technik

Üblich: k.A.

 Allgemein anerkannte Regeln der Technik

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Die Aufbereitung, die aktuell in ein paar wenigen Anlagen für Gipskartonplatten stattfindet, ist mobil oder stationär und enthält ausschließlich mechanische Aufbereitungsschritte. Die Aufbereitung verfolgt neben der Fremd- und Stöfstoffentfrachtung das Hauptziel die Abtrennung der Gipsanteile vom Karton bzw. Papier. Ein vereinfachtes Ablaufschema der Gipsaufbereitung ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Material wird vor der Aufgabe mit einem Bagger und händisch vorsortiert. Dabei werden Störstoffe, wie z. B. größere Metallteile, beschichtete Gipskartonplatten und Bauschutt groß aussortiert. Nach der Materialaufgabe werden weitere Metallteile mit Hilfe eines Magnetscheiders abgeschieden und das Material anschließend in mehreren Schritten auf die geforderte Korngröße zerkleinert. Die eingesetzt eingesetzten Zerkleinerungstechniken, die durch die Nutzung von Scherkräften die Trennung von Gips und Papier ermöglichen um somit den organischen Anteil im Gips zu reduzieren. Des Weiteren können über verschiedene Klassierungsverfahren Kunststoffe und Aluminium abgeschieden werden.

Systemskizze

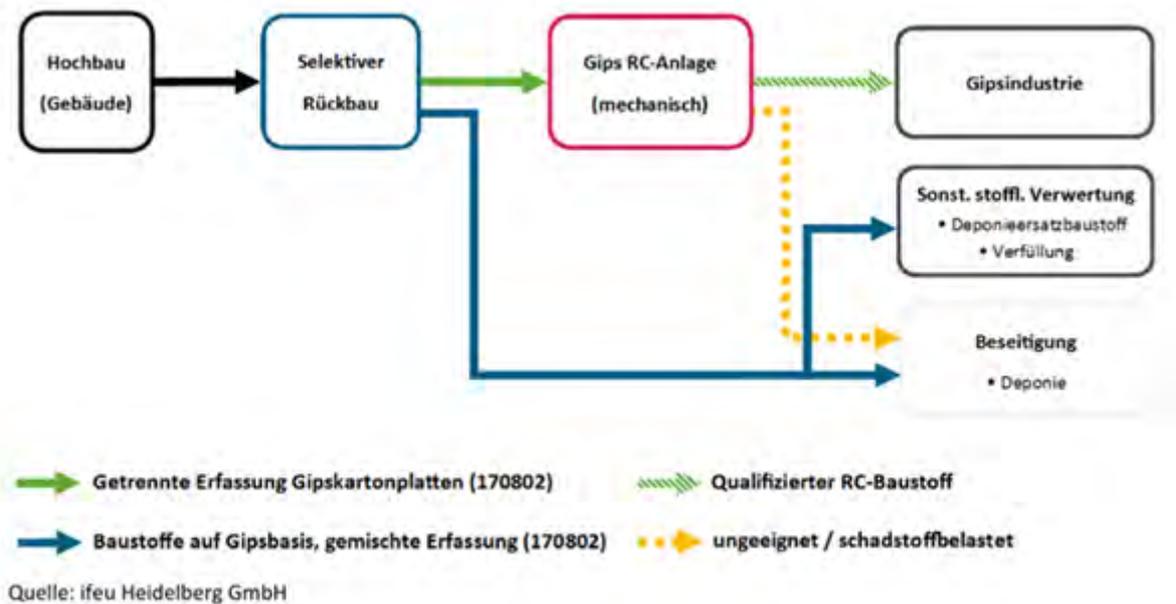


Abb. 2: Schematische Darstellung der derzeitigen und potenziellen Verwertungswege von Gipsabfällen (Bildquelle: UBA)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Die hohen Qualitätsanforderungen der Gipsindustrie lassen sich zudem nur dann erfüllen, wenn der Störstoffanteil im Input gering ist. Problematisch sind mineralische Störstoffe, während sich Kunststoffe, Holz und Dämmmaterialien aufgrund der deutlichen Dichteunterschiede vergleichsweise gut aussortieren lassen. Dies gilt auch für die Metallfraktion als Störstoff. Ein eigenes Problem stellen die Gipsfaserplatten dar. Die Papierfasern können über den Aufbereitungsprozess nicht ausgeschleust werden, sondern reichern sich im RC-Gips an. Die Einhaltung des TOC-Wertes ist daher nicht möglich. Gipskartonplatten und Gipsfaserplatten müssen demnach schon im Eingang zur Aufbereitung getrennt voneinander gehalten werden.

Aufwand und Kosten

Kombinationsmöglichkeiten

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Einsatz von Recyclingbeton](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Beitrag zur Kreislaufwirtschaft	Erhöhte Demontagekosten
Möglichkeit Erlöse zu generieren	Ggf. Haftungsausschluss bei Verwendung eines 2nd use Bauteils
Einsparung von Entsorgungskosten	Transportkosten

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
MUEG	Großpösna	Deutschland	Gipsaufbereitungsanlage VEZ I Großpösna
REMONDIS	Zweibrücken	Deutschland	Gipsaufbereitungsanlage Zweibrücken

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen

KURZINFORMATION

Durch die Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) können Fassadendämmungen dem aktuellen Stand der Technik angepasst werden, ohne die alte Dämmung zu entfernen.

Ressource

Niederschlagswasser Schmutzwasser Baustoffe Energie Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input checked="" type="checkbox"/> Vermeidung	<input checked="" type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

kein Wirkpotential Wirkpotential vorhanden geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

Gebäude Grundstück Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	10 (Ld 40)	<input type="checkbox"/>	Stand der Wissenschaft und Technik
	Max:	40 (Ld 75)	<input type="checkbox"/>	Stand der Technik
	Üblich:	25 (Ld 50)	<input checked="" type="checkbox"/>	Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Anwendungsebene: Außenfassade, Nutzungsdauer: maximale Nutzungsdauer angegeben durch Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Wärmedämmverbundsysteme umfassen einen Verbund aus Baustoffen, der außenseitig an der Fassade angebracht wird und der Gebäudedämmung dient. Der Zusammenschluss besteht aus dem Dämmmaterial (z.B. Polystyrol-Hartschaum, Mineralwolle), einem Armierungsgewebe (Glasfaser), welches mit einer Armierungsmasse auf der Dämmung aufgebracht wird und einer abschließenden Putzschicht. Befestigt wird das WDVS entweder durch reines Kleben, Kleben in Kombination mit Dübeln oder mechanisch über Metallschienen. Die Dämmwirkung des Systems hängt von der Dicke und der Beschaffenheit des Dämmmaterials ab. Aufgrund steigender Anforderungen entsprechen ältere WDVS häufig nicht mehr dem Stand der Technik. Anstelle eines Rückbaus und Austausches der Dämmung besteht jedoch die Möglichkeit, das System aufzudoppeln. In diesem Fall wird auf dem alten WDVS der gleiche Aufbau ein zweites Mal aufgebracht. Das Anbringen erfolgt durch Kleben und Dübeln.

Systemskizze

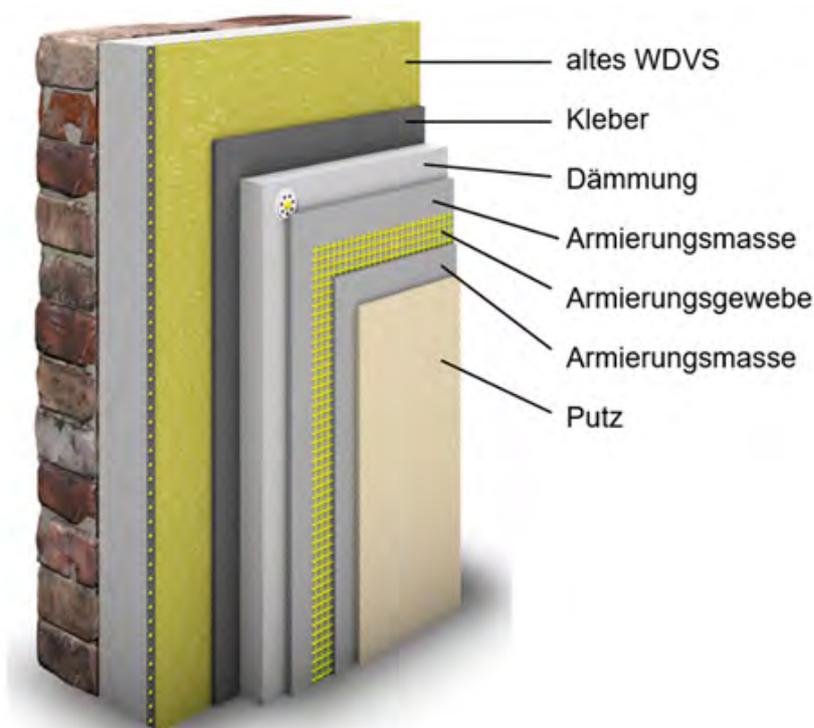


Abb. 2: Aufbau eines aufgedoppelten Wärmedämmverbundsystems (Bildquelle: SAKRET Europa)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Grundsätzlich besteht keine Pflicht zur Aufdoppelung von Gebäuden, die nicht verändert werden. Ist bei Gebäuden mit unzureichendem Wärmeschutz die Änderung von Außenwänden jedoch ohnehin vorgesehen (z.B. Erneuerung des Außenputzes), ist auch die Dämmung dem aktuellen Stand der Technik anzupassen. Bei der Aufdoppelung alter Wärmedämmverbundsysteme sind Anforderungen hinsichtlich der Standsicherheit und Tragfähigkeit, des Brandschutzes, Wärmeschutzes, Feuchteschutzes sowie des Schallschutzes zu beachten.

Norm/Regelwerk	Titel
DIBt (2014)	Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Zulassungsnummer Z-33.49 -1505 vom 16.4.2014. Zulassungsgegenstand: Wärmedämm-Verbundsysteme zur Aufdoppelung auf bestehende Wärmedämm-Verbundsysteme oder Holzwolle-Leichtbauplatten. Berlin. 2014.
DIBt (2015)	Deutsches Institut für Bautechnik: Hinweis-WDVS mit EPS-Dämmstoff. Konstruktive Ausbildung von Maßnahmen zur Verbesserung des Brandverhaltens von als „schwerentflammbar“ einzustufenden Wärmedämmverbundsystemen mit EPS-Dämmstoff. Fassung vom 27. Mai 2015.
EnEV (2013)	Energieeinsparverordnung des Bundes vom 16.10.2013.

DIN 4108-3 (2014)	Deutsches Institut für Normung: DIN 4108-3: 2014-11. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden-Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz-Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Berlin. 2014.
DIN 4109 (2018)	Deutsches Institut für Normung: DIN 4109: 2018-01. Schallschutz im Hochbau. Berlin. 2018.

Aufwand und Kosten

Die Investitionskosten der Maßnahme beinhalten die Materialkosten sowie Personalkosten und ggf. die Gerüstmietung. Betriebskosten, die den Ausgangszustand übersteigen, fallen nicht an.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ²	
min	70	min
max	150	max
üblich	110	üblich

Weitergehende Hinweise

Parameter

Wert

Rentabilitätsgrenze (Wie viel m ² ?)	Bei einer Umsetzung der Maßnahme sollte die gesamte Außenfassade des Gebäudes einbezogen werden.
Don'ts	Mehrfache Aufdoppelungen sowie Aufdoppelungen von WDVS mit Schienenbefestigung sind nicht zulässig.

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien

Zielkonflikte

Energie	Wärmedämmende Wirkung
---------	-----------------------

Kombinationsmöglichkeiten

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen](#)

[Gipsrecycling](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Einsatz von Recyclingbeton](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Vermeidung von WDVS-Abfällen

Einsparung von WDVS-Material

Nachteile

Die Dicke der Außenwände nimmt zu.
Durchgänge müssen ggf. verbreitert werden.

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Wohn- und Geschäftshaus Lohwiese 2	Haiger	Deutschland	Das Alt-WDVS mit einer Dicke von 80 mm wurde im Zuge der Überarbeitung der Fassade um weitere 80 mm Dämmung aufgedoppelt. Nur in kleineren Teilbereichen der rund 1.200 m ² Fassadenfläche kamen aus gestalterischen Gründen 60 mm dicke Dämmplatten zum Einsatz.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Bauteilbörsen

KURZINFORMATION

Vermarktung rückgebauter Bauteile in öffentlich zugänglichen Bauteilbörsen und Unterstützung der regionalen Kreislaufführung.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Holzfensterabteilung der Bauteilbörse Bremen (Bildquelle: Bauteilbörse Bremen)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|--|--|
| Wasser | <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung
<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung
<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung
<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung
<input type="checkbox"/> Verwertung
<input type="checkbox"/> Recycling | <input checked="" type="checkbox"/> Wiederverwendung
<input type="checkbox"/> Beseitigung |
| Energie | <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung
<input type="checkbox"/> Energieverbrauch
<input type="checkbox"/> Elektrizität | <input type="checkbox"/> Energieverteilung
<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
<input type="checkbox"/> Wärme |

Brennstoffe

Fläche

Klimaanpassung

Gesundheitsschutz

Erhalt d. Grunddaseinsfunktion

Naturschutz

Klimaschutz

Legende:

kein Wirkpotential

Wirkpotential vorhanden

geringes Wirkpotential

mittleres Wirkpotential

hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

Gebäude

Grundstück

Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW

Min: k.A.

Stand der Wissenschaft und Technik

Max: k.A.

Stand der Technik

Üblich: k.A.

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Eine Bauteilbörse übernimmt (kostenfrei oder gegen Vergütung) rückgebaute Bauteile und vermarktet diese in einem Online-Portal. In Einzelfällen sind auch Instandsetzungs- und Reparaturarbeiten möglich. Interessenten können die angebotenen Bauteile reservieren bzw. kaufen. Der Transport ist in der Regel eigenverantwortlich zu organisieren. In Deutschland bestehen derzeit fünf Bauteilbörsen. Diese werden durch den Verein *bauteilnetz Deutschland* zusammengeführt und unterstützt.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Für Rückbauer gilt: Zur Werterhaltung der Bauteile ist eine sorgfältige Demontage, Sortierung, Reinigung sowie Transport der Bauteile einzuplanen. Verkäufer benötigen eine vollständige Dokumentation des Verkaufs an eine Bauteilbörse, um die legale Verwertung der rückgebauten Bauteile belegen zu können. Käufer erhalten in der Regel keine Gewährleistung/Garantie für die erworbenen Bauteile. Sollen also bei der Errichtung/Renovierung eines Objektes Bauteile wiederverwendet werden, ist dies sowohl in der Planung als auch in der Vertragsgestaltung zwischen Bauherren und Handwerksunternehmen zu berücksichtigen.

Norm/Regelwerk	Titel
Gewerbeabfallverordnung	Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen

Aufwand und Kosten

Aufwand und Ertrag sind individuell zu kalkulieren. Die Vermarktbarkeit der Bauteile hängt vom Zustand und insbesondere der Nachfrage ab. Diese erhöht sich deutlich bei standardisierten, modularen Bauteilen mit langer Lebensdauer sowie bei historischen Bauteilen. Durch die Vermarktung der Bauteile auf Bauteilbörsen werden Entsorgungskosten eingespart – der u.U. aufwändiger Rückbau muss ebenso wie der Transport berücksichtigt werden.

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Standardisierung	Standardmaße bevorzugen; z.B.: Türen 88,5 x 200 cm, Deckenplatten (Abhangdecke) 62,5 x 62,5 cm
Do's	Bauteile ohne Beschädigungen demontieren
Hersteller	Bewährte Fabrikate (z.B. Villeroy & Boch, Keramag) einsetzen

Kombinationsmöglichkeiten

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Geothermieanlagen](#)

[Solarthermieanlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Wärmespeicher](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Beitrag zur Kreislaufwirtschaft	Erhöhte Demontagekosten
Möglichkeit Erlöse zu generieren	Ggfls. Haftungsausschluss bei Verwendung eines 2nd use Bauteils
Einsparung von Entsorgungskosten	Transportkosten

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Bauteilbörse Bremen	Bremen	Deutschland	http://www.bauteilboerse-bremen.de
Bauteilbörse Hannover	Hannover	Deutschland	http://bauteilboerse-hannover.de
bauteilnetz Deutschland		Deutschland	http://www.bauteilnetz.de

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen

KURZINFORMATION

Für eine erfolgreiche Ressourcenschonung beim Neubau eines Gebäudes müssen Aspekte der Ressourcenschonung bereits in der Planung und Gestaltung des Gebäudes berücksichtigt werden. Öffentliche Auftraggeber können dies sicherstellen, in dem sie in der Ausschreibung der Planungsleistung (oder Auslobung des Planungswettbewerbs) bereits eine ressourcenschonende Planung verlangen. Das Ziel der Ressourcenschonung kann dann durch weitere Anforderungen an die ausgeschriebenen Bauprodukte in den Ausschreibungen der Bauleistungen weiterverfolgt werden. Öffentliche Auftraggeber könnten so ihrer Vorbildrolle nachkommen und u.a. zu höherer Qualität bei ausgeschriebenen Leistungen und Produkten kommen.

Ressource

Niederschlagswasser Schmutzwasser Baustoffe Energie Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input checked="" type="checkbox"/> Vermeidung	<input checked="" type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input checked="" type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

kein Wirkpotential Wirkpotential vorhanden geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | | |
|-------------------------|---------|------|--|
| k.A. m ² /EW | Min: | k.A. | <input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: | k.A. | <input type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: | k.A. | <input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Die Systemskizze zeigt den Ablauf eines Vergabeverfahrens mit vorgeschaltetem (Architekten-) wettbewerb. Die roten Pfeile verdeutlichen an welcher Stelle durch konkrete Anforderungen in der Ausschreibung bzw. dem Vertrag ein Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden kann.

Systemskizze

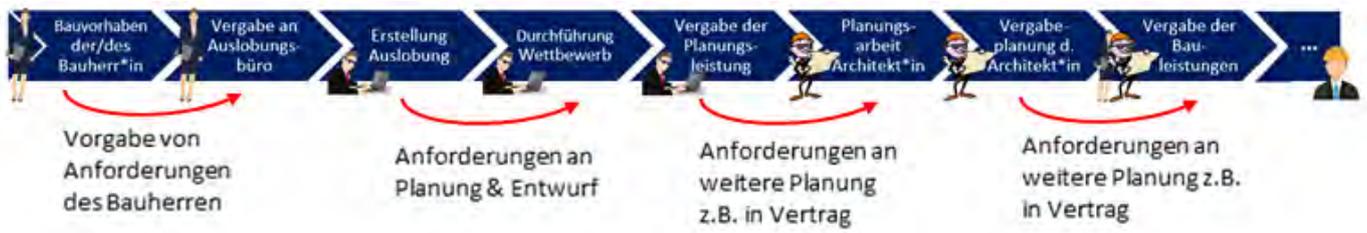


Abb. 2: Ablauf eines Vergabeverfahrens mit vorgeschaltetem (Architekten-) wettbewerb (Bildquelle: Franziska Struck)

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Die nachfolgende Tabelle stellt die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung von ressourcenschonenden Aspekten im Verlauf einer Vergabe.

Norm/Regelwerk	Titel
Grundsätze	<p>In §97 GWB werden die Grundsätze der Vergabe geregelt. <i>(1) Öffentliche Aufträge und Konzessionen werden im Wettbewerb und im Wege transparenter Verfahren vergeben. Dabei werden die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit und der Verhältnismäßigkeit gewahrt.</i> <i>(3) Bei der Vergabe werden Aspekte der Qualität und der Innovation sowie soziale und umweltbezogene Aspekte nach Maßgabe dieses Teils berücksichtigt.</i> Analog §2 UVGO: <i>(3) Bei der Vergabe werden Aspekte der Qualität und der Innovation sowie soziale und umweltbezogene Aspekte nach Maßgabe dieser Verfahrensordnung berücksichtigt.</i></p>
Eignungsprüfung	<p>Durch die Eignungsprüfung können bei ressourcenschonenden Bauvorhaben Unternehmen ohne entsprechende Erfahrung ausgeschlossen werden. §46 (1) VgV: <i>Der öffentliche Auftraggeber kann (...) Anforderungen stellen, die sicherstellen, dass die Bewerber oder Bieter über die erforderlichen personellen und technischen Mittel sowie ausreichende Erfahrungen verfügen, um den Auftrag in angemessener Qualität ausführen zu können.</i></p>
Leistungsbeschreibung	<p>Innerhalb der Leistungsbeschreibung kann der Auftraggeber den Beschaffungsgegenstand beschreiben. Dabei gelten die Vorgaben des §31 VgV: *(3) Die Merkmale können auch Aspekte der Qualität und der Innovation sowie soziale und umweltbezogene Aspekte betreffen. Sie können sich auch auf den Prozess oder die Methode zur Herstellung oder Erbringung der Leistung oder auf ein anderes Stadium im Lebenszyklus des Auftragsgegenstands einschließlich der Produktions- und Lieferkette beziehen, auch wenn derartige Faktoren keine materiellen Bestandteile der Leistung sind, sofern diese Merkmale in Verbindung mit dem Auftragsgegenstand stehen und zu dessen Wert und Beschaffungszielen verhältnismäßig sind.</p>
Zuschlagskriterien	<p>Mit dem wirtschaftlichsten Angebot ist nicht zwingend das Angebot mit dem geringsten Anschaffungspreis gemeint. Die wird in 127 GWB / § 58 VgV / § 43 UVgO vorgeschrieben. § 58 VGV (2): *Die Ermittlung des wirtschaftlichsten Angebots erfolgt auf der Grundlage des besten Preis-Leistungs-Verhältnisses. Neben dem Preis oder den Kosten können auch qualitative, umweltbezogene oder soziale Zuschlagskriterien berücksichtigt werden, insbesondere: <i>1. die Qualität, einschließlich des technischen Werts, Ästhetik, Zweckmäßigkeit, Zugänglichkeit der Leistung insbesondere für Menschen mit Behinderungen, ihrer Übereinstimmung mit Anforderungen des „Designs für Alle“, soziale, umweltbezogene und innovative Eigenschaften sowie Vertriebs- und Handelsbedingungen,</i> Etwaige Zuschlagskriterien müssen vorab bekannt gegeben werden.</p>

Kosten/Lebenszykluskosten	Die Vergabeverordnung legt fest, dass und wie die Vergabe auch nach den Lebenszykluskosten vergeben werden kann. §59 (1) VgV: <i>Der öffentliche Auftraggeber kann vorgeben, dass das Zuschlagskriterium „Kosten“ auf der Grundlage der Lebenszykluskosten der Leistung berechnet wird.</i>
Nachweis mittels Gütezeichen	Gütezeichen können als Nachweis für die Einhaltung der technischen Spezifikationen (§34 VgV), der Zuschlagskriterien (§58 (4)) oder Ausführungsbedingungen (§61 VgV2016) genutzt werden. §34 (1) VgV: <i>Als Beleg dafür, dass eine Liefer-oder Dienstleistung bestimmten, in der Leistungsbeschreibung geforderten Merkmalen entspricht, kann der öffentliche Auftraggeber die Vorlage von Gütezeichen nach Maßgabe der Absätze 2 bis 5 verlangen.</i>
Auftragsausführung	Auch bei der Ausführung können Anforderungen an Ressourcenschonung gestellt werden. §128 (2) GWB: <i>Öffentliche Auftraggeber können darüber hinaus besondere Bedingungen für (...) Ausführungsbedingungen festlegen, sofern diese mit dem Auftragsgegenstand entsprechend §127 (3) in Verbindung stehen. Die Ausführungsbedingungen müssen sich aus der Auftragsbekanntmachung oder den Vergabeunterlagen ergeben. Sie können insbesondere wirtschaftliche, innovationsbezogene, umweltbezogene, soziale oder beschäftigungspolitische Belange oder den Schutz der Vertraulichkeit von Informationen umfassen.</i>

Aufwand und Kosten

Auf die Angestellten des öffentlichen Auftraggebers kommt ein erhöhter Aufwand zu. Neue Formulierungen für Leistungsbeschreibungen und Auslobungen müssen verfasst werden. Bieter*innen und Interessierte müssen beraten und aufgeklärt werden. Dieser Aufwand wird sich bei mehrfacher Anwendung jedoch reduzieren, da die Abläufe routinierter werden und Formulierungen für weitere Bauprojekte übernommen werden können.

Weitergehende Hinweise

Weitere allgemeine Informationen: <http://www.nachhaltige-beschaffung.info>

Nutzung von Siegeln als Nachweis: <https://www.kompass-nachhaltigkeit.de/>

Arbeitsgruppe zur Ausarbeitung von Formulierungen für eine Auslobung: <https://www.re-source.com/>

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Niederschlagswasser	Die Anforderungen im Leistungsverzeichnis und die etwaigen Zuschlagskriterien können zum Schutz aller Ressourcen genutzt werden.	Die üblichen Zielkonflikte zwischen den Ressourcen bestehen weiterhin. Diese können problematisch sein bei der Festlegung der Anforderungen in der Ausschreibung. Dies liegt jedoch nicht an den Ausschreibungen.
Schmutzwasser	//	//
Baustoffe	//	//
Energie	//	//
Fläche	//	//

Kombinationsmöglichkeiten

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Gebäudepass-Neubau](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Wärmespeicher](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Umsetzung des Prinzips Ressourcenschonung

Erfüllung der Vorbildrolle und gesetzlicher Pflichten durch gesetzliche Auftraggeber

Nachteile

Erhöhter Aufwand bei den ersten Durchführungen

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Rathaus Korbach	Korbach	Deutschland	Neubau des Rathausanbaus unter Verwendung des Abbruchmaterials des alten Anbaus. https://www.re-source.com/wp-content/uploads/2020/11/Vortrag_Rosen.pdf https://nachhaltige-stadtentwicklung-hessen.de/media/gutes_beispiel_korbach_rathaus.pdf
Stadtarchiv Viersen	Viersen	Deutschland	Neubau des Stadtarchivs mit dem Thema „Zirkuläre Wertschätzung“. https://www.nachhaltiger-kreis-viersen.de/tag/zirkulaere-wertschoepfung/ https://rp-online.de/nrw/staedte/viersen/kreis-viersen-neues-kreisarchiv-am-ransberg-waechst_aid-51294411

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Gebäudepass-Neubau

KURZINFORMATION

Durch die digitale Erfassung des Gebäudes können wichtige Parameter und Zusammenhänge leicht erfasst und in Planungsprozesse eingebunden werden.

Umsetzungsbeispiel

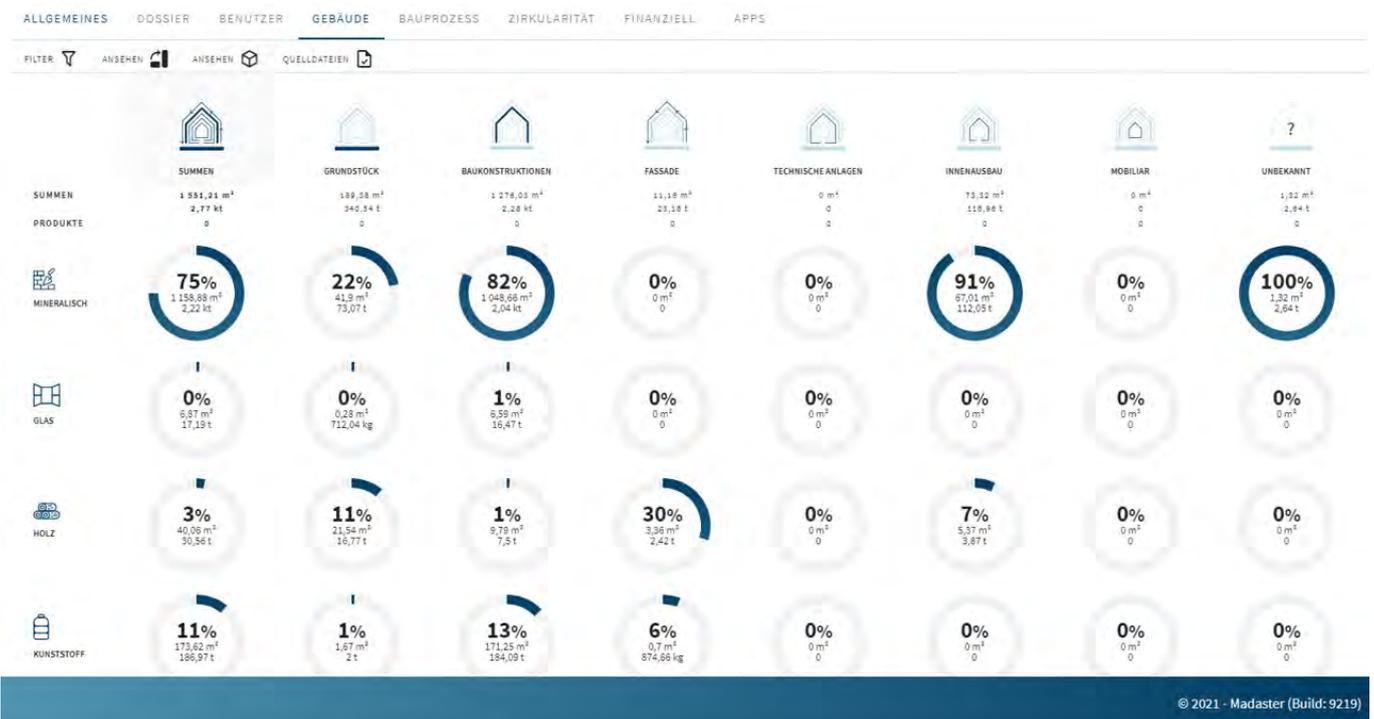


Abb. 1: Visualisierung der hinterlegten Gebäudeinformationen auf der Plattform von Madaster Germany GmbH (Bildquelle: Madaster Germany GmbH)

Ressource

Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | |
|---|--|
| <p>Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| <p>Baustoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input checked="" type="checkbox"/> Recycling | <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung |

Energie

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Energiebereitstellung | <input type="checkbox"/> Energieverteilung |
| <input type="checkbox"/> Energieverbrauch | <input type="checkbox"/> Energiespeicherung |
| <input type="checkbox"/> Elektrizität | <input type="checkbox"/> Wärme |
| <input type="checkbox"/> Brennstoffe | |

Fläche

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Klimaanpassung | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz |
| <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion | <input type="checkbox"/> Naturschutz |
| <input type="checkbox"/> Klimaschutz | |

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gebäude | <input type="checkbox"/> Grundstück | <input type="checkbox"/> Quartier |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | |
|-------------------------|--------------|--|
| k.A. m ² /EW | Min: k.A. | <input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: k.A. | <input type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: k.A. | <input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Durch einen digitalen Gebäudepass können wichtige Informationen zu Gebäuden bereits in der Antragsphase digital erfasst und verarbeitet werden. Wichtige und grundlegende Informationen sind so leicht verfügbar und können auch im Rahmen anderer Fachbereiche der Kommunalverwaltung genutzt werden. Durch die Dokumentation von Abmessungen, Baujahr, Wohnungen, Rohstoffe etc. stehen wichtige Informationen des Gebäudebestandes auch zukünftig zur Verfügung. Durch die Dokumentation von Abmessungen, Baujahr, Wohnungen, Rohstoffe etc. stehen wichtige Informationen des Gebäudebestandes auch zukünftig zur Verfügung.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Es sollte auf eine klare Struktur geachtet werden und auf die Einbindung der relevanten Fachbereiche der kommunalen Verwaltung.

Norm/Regelwerk	Titel
Objektartenkatalog ALKIS	z.B. Bemessung von Regenrückhalteräumen
DIN 277	Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau
DIN 276	Kosten im Bauwesen

Aufwand und Kosten

Der größte Aufwand liegt in der Konzipierung und Einführung. Anschließend sollten die Aufwendungen und Kosten gegenüber dem aktuellen Vorgehen geringer ausfallen.

Kombinationsmöglichkeiten

[Gipsrecycling](#)

[Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Einsatz von Recyclingbeton](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Fassadenbegrünung](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Einsatz von Recyclingbeton](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Einsatz von Recyclingbeton

KURZINFORMATION

Beim Recycling- oder RC-Beton wird gebrochener Naturstein oder auf natürliche Weise entstandener Kies durch eine recycelte Gesteinskörnung (aufbereiteter Bauschutt) teilweise ersetzt.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Beispiel eines RC-Betonsteins (Bildquelle: SCHWENK Zement GmbH & Co. KG)

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe

- Vermeidung Wiederverwendung

- Verwertung
- Recycling
- Beseitigung

Energie

- Energiebereitstellung
- Energieverbrauch
- Elektrizität
- Brennstoffe
- Energieverteilung
- Energiespeicherung
- Wärme

Fläche

- Klimaanpassung
- Erhalt d. Grunddaseinsfunktion
- Klimaschutz
- Gesundheitsschutz
- Naturschutz

Legende:

- kein Wirkpotential
- mittleres Wirkpotential
- Wirkpotential vorhanden
- hohes Wirkpotential
- geringes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
- Grundstück
- Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | | | |
|------------|---------|------|-------------------------------------|---|
| k.A. m²/EW | Min: | 10 | <input type="checkbox"/> | Stand der Wissenschaft und Technik |
| | Max: | 100 | <input checked="" type="checkbox"/> | Stand der Technik |
| | Üblich: | k.A. | <input type="checkbox"/> | Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

Hinweis:

Nutzungsdauer: Abhängig von der Nutzung/vom Einsatz → Bezug auf Objekte, nicht auf Material

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Bei der Herstellung von Recycling-Beton wird die Kies-Komponente durch eine aus aufbereitetem Bauschutt hergestellte Recycling-Gesteinskörnung (Zuschlagstoff) teilweise ersetzt. Die Qualität dieser Gesteinskörnung bestimmt Güte und Eigenschaften des Recycling-Betons. Die entsprechenden Anforderungen bezüglich Baustoffen und Produktion sind in technischen Regeln festgelegt (z.B. in der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton). Generell muss der Fokus bei geeigneten Abrissobjekten auf den selektiven Rückbau gelegt werden, um durch gezielte Trennung unterschiedlicher Baustoffe ökonomische und ökologische Vorteile bei der Herstellung der RC-Gesteinskörnung zu erzielen. Auf die Qualität nehmen folgende Faktoren Einfluss:

- Die Art (Qualität) des Ausgangsmaterials
- Die zur Verfügung stehende Aufbereitungstechnik und
- Der Anteil der dem Ausgangsmaterial anhaftenden Fremdstoffe

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Rahmenbedingungen:

- Direkte Beeinflussung des Prozesses
- Natürliche Vorkommen von Lockergesteinsrohstoffen sind begrenzt; Abbau zieht meist intensive Folgen für zumindest eines der relevanten Schutzgüter nach sich → z.B. glaziale Sand- und Kiesvorkommen in Norddeutschland
- Sich verknappender vorhandener Deponieraum → Frage der Allgemeinakzeptanz des neuen Landschaftsbildes (Übertägige Deponie)
- Wettbewerb zwischen Zuschlägen aus Primärrohstoffen und Recyclingzuschläge, ausschlaggebend für Wettbewerbsfähigkeit der Baustoff-Recycling-Branche
- RC-Zuschläge aus Beton und Ziegelabfällen & rarr wichtigstes Recyclingprodukt aus den Bau- und Bruchabfällen

Faktoren - ist der Einsatz von RC-Beton an dieser Stelle sinnvoll?

- Transportentfernung Recyclingplatz zur Mischanlage
- Kostenunterschied des RC-Materials zur normalen Gesteinskörnung
- Verfügbarkeit (Menge und Kontinuität)
- Sind zusätzliche Lager- und Dosiermöglichkeiten an der Mischanlage gegeben?
- Gibt es ökonomische Anreize durch den AG? (RC-Beton ist nicht billiger als Normalbeton)

- Gibt es regionale Hersteller von RC-Material, die alle Anforderungen erfüllen?

Aufwand und Kosten

Der Aufwand zur Herstellung von RC-Beton hängt von der Qualität des Sekundärmaterials ab, der gewünschten Produktqualität, sowie von den Transportentfernungen zwischen Abbruch- Aufbereitung- Betonwerk- Einsatzort. Es kann keine pauschale Aussage über den Energiebedarf oder Preis getroffen werden, da diese neben den oben genannten Faktoren, zusätzlich von regionalen Gegebenheiten und der Erfahrung des Aufbereitungsunternehmens abhängig sind. Zur Zeit liegen die Zusatzkosten für R-Beton bei etwa 5 €/Mg.

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	Beton, Mörtel, ungebundene Gestinskörnung, Mauerziegel, Kalksandsteine; geringe & begrenzte Mengen Asphalt, Kunststoffe, Gips, Glas, aufschwimmendes Holz, Dämmstoffe
Don'ts	Rezyklierter Sand 0/2, Einsatz unter Festigkeitsklasse C30/37, Verwendung von Spannbeton/Leichtbeton
Hersteller	Heinrich Feess GmbH&Co KG, Scherer + Kohl GmbH&Co KG, RCM Recyclingzentrum Mittelrhein GmbH, F. OTT Teerrecycling GmbH
Amortisierung	Ca. 10 Jahre

Ressourcenübergreifende Aspekte

	Synergien	Zielkonflikte
Baustoffe	Verringerung induzierter indirekter Stoffströme, Verringerung von CO ₂ , keine neuen Ressourcen benötigt.	Teils lange Transportwege

Ökobilanzielle Bewertung

Recyclingbeton bietet in meinen Wirkungskategoriein hohe Einsparungen allerdings nicht in allen Wirkungskategorien. Das Treibhausgaseinsparungspotential hängt von der nötigen Menge an Zement, dass dem Recyclingbeton hinzugefügt werden muss (Knoeri et al., 2013). Zudem ist Recyclingbeton gegen normalen Beton laut dieser Studie nur vorteilhaft, wenn er nicht über 15 Kilometer transportiert werden muss.

Literaturstellen

Knoeri, C., Sanyé-Mengual, E., Althaus, H.J., 2013. Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications. Int. J. Life Cycle Assess. 18.
<https://doi.org/10.1007/s11367-012-0544-2>

Kombinationsmöglichkeiten

[Gipsrecycling](#)

[Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Einsatz von Recyclingbeton](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

[Fassadenbegrünung](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Ressourcen werden wiederverwendet

Vorkommen primärer Rohstoffe sind endlich, ihr Abbau zumeist zeiteinnehmend und landschaftszehrend → reduzierter Abbau und Einsatz

Gleiche Kosten wie bei herkömmlichem Beton

Verringerte, zu deponierende Menge Bauschutt

Reduktion von CO₂-Ausstoß (vor allem bei Einhaltung der geringeren Transportdistanzen)

Hochwertig und ressourcenschonend

Nachteile

Selber Energieaufwand gegenüber herkömmlicher Betonherstellung

Trotz großer Anstrengungen, anfallende Reststoffe verwerten, werden noch erhebliche Mengen (z.B. Restbeton) deponiert oder im Straßen- und Wegebau für untergeordnete Zwecke eingesetzt → „down-cycling“

Bindemittel und Wasser immer nötig, Kies oder gebrochener Naturstein wird nur teilweise durch eine RC-Gesteinskörnung ersetzt

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Rheinuferbebauung Rheinallee	Ludwigshafen	Deutschland	drei Bauabschnitte, Büro- und Praxisräume, Miet- und Eigentumswohnungen der gehobenen Preisklasse; Haus Nummer 3 (Hochbau) zu großen Teilen aus Rc-Beton → 650 m ³ RC-Beton C 30/37 der Expositionsklasse xC1-DIN 1045-2
Zukunftspark Heilbronn-Wohgelegen	Heilbronn	Deutschland	Zwei Gebäude des Wissenschafts- und Technologiezentrum WTZ I und WTZ II stellen innovative Firmen aus dem Bereich Medizin- und Umwelttechnik sowie IT Büro- und Laborflächen zur Verfügung
Bürogebäude	Malsch	Deutschland	Neubau eines Bürogebäudes in Passivhausstandard auf der Deponie

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Gebäudepass-Altbau

KURZINFORMATION

Die digitale Erfassung eines Gebäudes in Form eines sog. Gebäudepasses liefert wichtige Informationen über das Gebäude. Für Altbauten bzw. Bestandsgebäude gab es standardmäßig keine solche digitale Erfassung. Insbesondere die Materialzusammensetzung der Bauteile und Materialmenge der Baustoffe ist dabei relevant. Eine nachträgliche Erfassung soll dazu beitragen die Datenverfügbarkeit zu erhöhen und das anthropogene Lager besser abbilden zu können.

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input checked="" type="checkbox"/> Recycling	<input checked="" type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

- kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Durch einen digitalen Gebäudepass können wichtige Informationen zu Bestandsgebäuden nachträglich erfasst werden. So sind diese für die weitere Lebensdauer des Gebäudes verfügbar. Bei Planung von Sanierung oder Abbruch sind Daten über Kubatur, Baujahr, Baukonstruktion und Baumaterialien (Rohstoffe) für die Umsetzung der Maßnahme nutzbar. Ziel ist es dabei, eine bessere Kreislaufführung der Rohstoffe zu ermöglichen. Die Verfügbarkeit der Daten sollte durch die Kommunalverwaltung gewährleistet werden.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Es sollte auf eine klare Struktur und einen sinnvollen, einheitlichen Aufbau des Gebäudepasses unter Einbindung der relevanten Fachbereiche und kommunalen Verwaltung geachtet werden.

Norm/Regelwerk	Titel
Bauakte, Pläne etc.	Informationen zu Baujahr, Statik, Baukonstruktion, Abmessungen, Lageplan etc.
Objektkartenkatalog ALKIS	Flächenermittlung, Kubatur
DIN 276	Kosten im Bauwesen
DIN 277	Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau

Aufwand und Kosten

Der größte Aufwand liegt in der Konzipierung und Einführung eines Standardverfahrens zu Erstellung des Gebäudepasses. Darüber hinaus in der Digitalisierung vorhandener Bauakten sowie der Aufmaßerstellung bestehender Gebäude. Ebenfalls aufwendig bei mangelnder Datengrundlage ist die Ermittlung der Baustoffe/Baumaterialien und Konstruktionen. Der personelle Aufwand ist i. d. R. ökonomisch nicht vertretbar.

Kombinationsmöglichkeiten

[Fassadenbegrünung](#)

[Gründach](#)

[Dachgarten](#)

[Blue roof](#)

[Entsiegelung \(Teildurchlässige Flächenbeläge\)](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[Doppel-Inliner-Verfahren](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Gipsrecycling](#)

[Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Einsatz von Recyclingbeton](#)

[Gebäudepass-Altbau](#)

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

V. Energie

Geothermieanlagen

KURZINFORMATION

Geothermie bezeichnet die Nutzung im Boden gespeicherter thermischer Energie. Diese kann für thermische Anwendungen (Beheizung von Gebäuden, industrielle Prozesswärme, etc.) und bei ausreichend hohen Temperaturen, durch Zwischenschaltung eines thermodynamischen Kraft-Wärme-Prozesses, zur Stromerzeugung genutzt werden (Wesselak et al. 2017).

Umsetzungsbeispiel

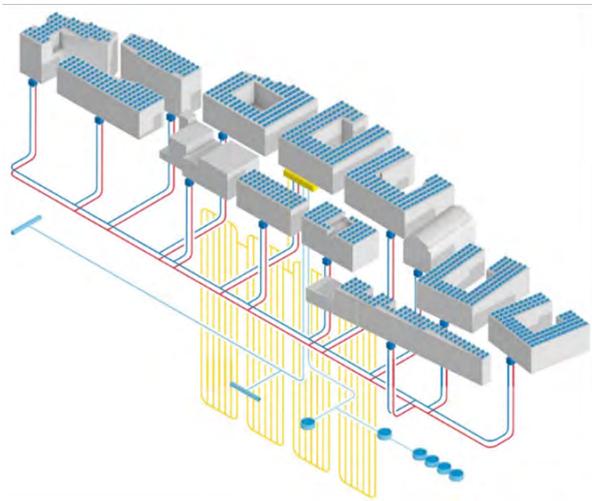


Abb. 1: Links das Energiekonzept des Quartiers Greencity Süd in Zürich. Gelb: Erdsondenfeld, blau/rot: Wärmenetz und Wärmegewinnung aus dem Grundwasser (Bildquelle: www.ewz.ch/greencity). Rechts Tiefen-Geothermie-Grünwald. Dargestellt sind die Brunnen, links Reinjektion, rechts Produktion (Bildquelle: Erdwärme Grünwald).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|---|--|
| Wasser | <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| | <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| | <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| | <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |

	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

<input type="checkbox"/> kein Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential
<input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential	

Anwendungsebene

- Gebäude
- Grundstück
- Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW	Min: 50	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,1 - 75 m²/kW	Max: 100	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf bezieht sich auf Tiefengeothermie-Anlagen (0,1 m²/kW) (IINAS 2015), bzw. auf Erdwärmekollektoren, deren Flächenbedarf je nach Bodenbeschaffenheit und Leistungszahl zwischen 20 - 75 m²/kW beträgt.

- Der Flächenbedarf von Erdwärmekollektoren entspricht etwa dem doppelten der zu beheizenden Nutzfläche.
- Der Bohrdurchmesser von Erdwärmesonden beträgt circa 150 mm, der Abstand zu der Grundstücksgrenze 3 - 5 m, die Sonden sollten untereinander einen Abstand von mindestens 6 m haben.
- Für Grundwasserbrunnen müssen zwei Bohrungen im Abstand von 10 - 15 m durchgeführt werden.

Die Nutzungsdauer bezieht sich auf Erdsonden bzw. Erdwärmekollektoren. Die Nutzungsdauer eingesetzter Wärmepumpen ist kürzer (vgl. Steckbrief WP) (Bundesverband Wärmepumpe 2018, gec-co 2018).

Oberflächennahe Geothermie ist dem Status „allgemein anerkannte Regel der Technik“, Tiefen-Geothermie dem „Stand der Wissenschaft und Technik“ zuzuweisen (Bundesverband Geothermie 2019).

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Die Geothermie bietet eine Quelle zur Bereitstellung von Wärme und elektrischer Energie. Entsprechend der notwendigen Bohrteufe wird zwischen oberflächennaher (bis 400 m) und tiefer Geothermie (über 400 m) unterschieden. Bei den meisten Anlagen wird eine Bohrteufe von 150 m nicht überschritten. In dieser Teufe liegen in der Regel Temperaturen bis zu 25 °C vor (Stober und Bucher 2014).

Die Temperaturniveaus zur Nutzung der Tiefen-Geothermie sind standortabhängig. In Deutschland liegen die Temperaturen des geförderten Wassers in der Regel unter 200 °C. Zur Stromerzeugung werden niedrig siedende Lösungen (zwischen 30 und 80 °C) in Kombination mit Organic-Rankine-Cycle (organische Lösungen) oder Kalina-Prozessen (Ammoniak-Wasserlösungen) verwendet (Stober und Bucher 2014).

Geothermische Wärme lässt sich mithilfe unterschiedlicher Ausführungen nutzen. Erdwärmesonden sind in vertikale Bohrungen eingebrachte Rohre, in denen als Wärmeträgermedium eine Flüssigkeit zirkuliert und Wärme aus dem umgebenden Boden aufnimmt (Stober und Bucher 2014). Erdwärmekollektoren sind flächig unter Freiflächen verteilte Rohrleitungen, die die Erdwärme der oberen Bodenschichten nutzen. Sie kommen bei Teufen von bis zu 3 m zum Einsatz.

Die in der Sonde oder dem Kollektor zirkulierende Flüssigkeit besteht aus einer sogenannten Sole, z. B. ein Wasser-Glykol-Gemisch. Ist das Temperaturniveau der Wärmequelle zu gering für die direkte Nutzung der Wärme, wird das Temperaturniveau mittels Wärmepumpe angehoben (Bundesverband Wärmepumpe 2018). Unter Aufwendung von Arbeit entzieht eine Wärmepumpe der Wärmeträgerflüssigkeit Wärme, welche anschließend genutzt werden kann. So können auch Wärmequellen mit verhältnismäßig geringen Temperaturniveaus, wie oberflächennahe Erdschichten oder Grundwasser, zur geothermischen Nutzung erschlossen werden (Stober und Bucher 2014). Das Funktionsprinzip von Wärmepumpen lässt sich umkehren. Im Sommer kann die Wärmepumpe so für Kühlzwecke eingesetzt werden. Gebäude werden gekühlt und die Wärmequelle wird durch die zugeführte Wärme regeneriert.

In Quartieren können geothermische Anlagen zur zentralen oder dezentralen Wärmeversorgung und Kühlung genutzt werden.

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Dezentrale Wärmeversorgung/Kühlung mittels oberflächennaher Geothermie

Zur Wärmeversorgung und Kühlung einzelner Gebäude mithilfe oberflächennaher Geothermie kommen Erdsonden oder Erdkollektoren zum Einsatz. Für die Anlagen sind unbebaute Freiflächen nötig. Aufgrund ihrer geringen Leistung kommen geothermische Anlagen meist nur als Ergänzung zu anderen Wärmeerzeugern zum Einsatz. Die thermische Leistung liegt im Bereich mehrerer kW.

Zentrale Wärmeversorgung mittels oberflächennaher Geothermie

Bei der zentralen Wärmeversorgung wird mithilfe einer zentralen Wärmepumpe Wärmeenergie bereitgestellt und mithilfe eines Wärmenetzes an die Verbraucher verteilt. Hier kommen in der

Regel Erdsonden mit in der Summe mehreren MW Leistung zum Einsatz.

Zentrale Wärme- und Stromversorgung mittels tiefer Geothermie

Durch die Nutzung tiefergeothermischer Potenziale kann in Quartieren zentral Wärme und Elektrizität bereitgestellt und im Quartier genutzt werden. Die thermische Leistung liegt dabei im Bereich von 10 - 100 MW, die elektrische Leistung bei bis zu 10 MW. Realisierbar sind solche Kraftwerke nur dann, wenn ein ausreichendes geothermisches Potential vorliegt, wie es beispielsweise im Norddeutschen Becken oder dem Oberrheintal der Fall ist.

Systemskizze

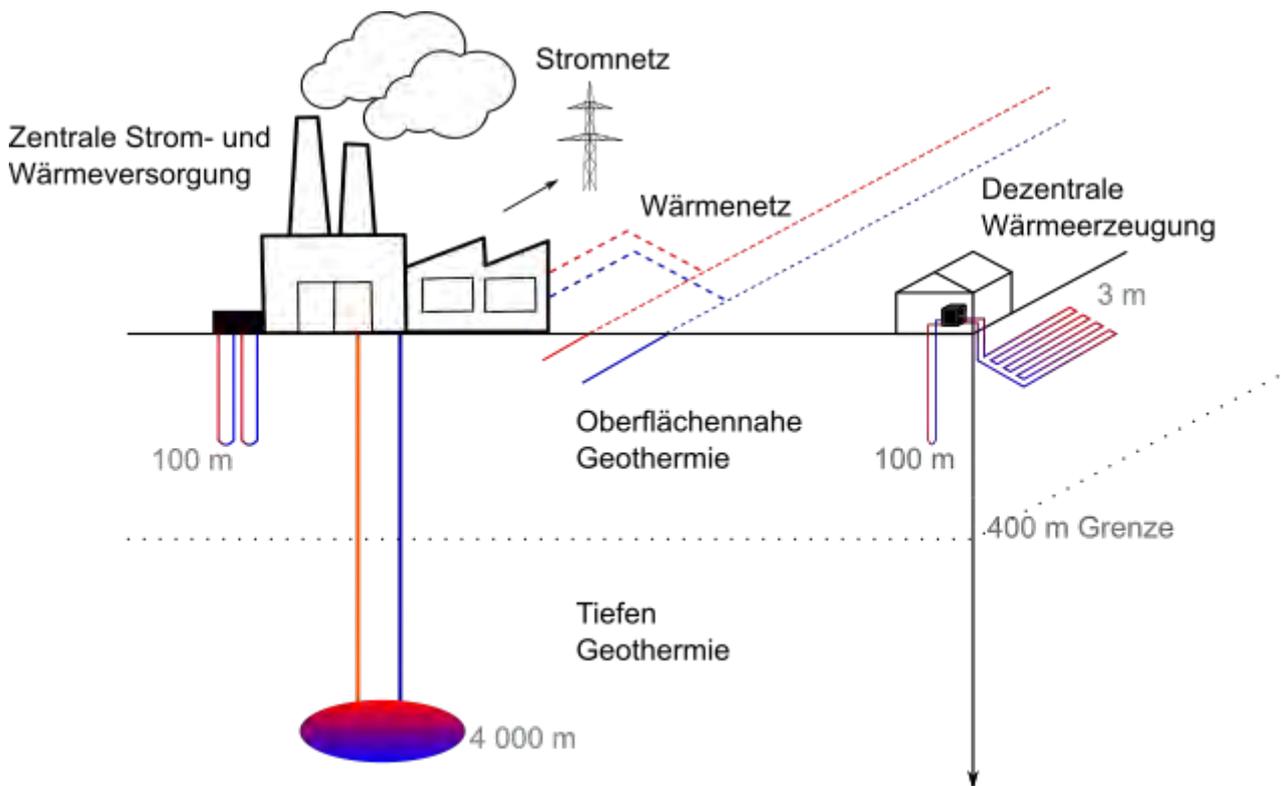


Abb. 2: Dargestellt ist ein Tiefen-Geothermie-Kraftwerk, sowie eine dezentrale Anlage mit Wärmepumpe und Erdsonde bzw. Erdkollektor.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Planung/Bemessung:

Die einzelnen Bundesländer stellen Leitfäden für den Gebrauch geothermischer Anlagen zur Verfügung. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) gibt verschiedene Richtlinien für die Nutzung von Geothermie heraus. Auf Landesebene sind verschiedene Merkblätter einzuhalten, beispielsweise die „Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Nutzung oberflächennaher Erdwärme“ des Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW).

Förderung:

Auf Bundesebene fördert das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrollen (BAFA) die Anschaffung

einer Wärmepumpe (vgl. Steckbriefwärmepumpen). Nach dem Erneuerbaren-Energie-Gesetz (EEG) wird der eingespeiste Strom aus Geothermie-Anlagen gefördert. Die Kreditanstalt für Wiederaufbau gewährt zinsgünstige Kredite. Auf Länderebene gewähren die Landesförderinstitute Kredite. Weiterhin gibt es länderspezifische Förderprogramme. Beispielsweise fördert das Programm progres.NRW im Bestandsbau Erdwärmesonden mit 10,00 €/m, Erdwärmekollektoren mit 6,5 €/m² und Brunnenbohrungen mit 1 000 €/m³ Förderleistung pro Stunde.

Norm/Regelwerk	Titel
VDI 4640	Thermische Nutzung im Untergrund
VDI 4645	Planung, Errichtung und Betrieb von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern
Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)	Durch das Inkrafttreten EEWärmeG gibt es seit dem 1. Januar 2009 eine Nutzungspflicht für erneuerbare Energien in Neubauten. Genutzt werden kann dabei auch die Geothermie.
Unteren Wasserbehörde	Bei Nutzung des Grundwassers oder des Erdreichs als Wärmequelle muss das Vorhaben bei der unteren Wasserbehörde angezeigt werden.
Geologischen Dienst des Landes	Bei größeren Anlagen ab einer Bohrtiefe von 100 m ist eine bergrechtliche Genehmigung des Landes erforderlich. Die Anzeige der Bohrung und deren Ergebnisse erfolgt beim Geologischen Dienst des jeweiligen Landes.

Aufwand und Kosten

	Investitionskosten		Betriebskosten	
		€/kW		€/kWh €/kW*a
min		1 685	min	0,03 140
max		10 404	max	0,05 160
üblich			üblich	

Hinweis:

Die Daten der Investitionskosten stammen aus der GEMIS-Datenbank. Die untere Grenze steht für dezentrale Anlagen und zentrale Heizwerke. Die obere Grenze für Geothermie-Kraftwerke in Kombination mit ORC-Prozessen (IINAS 2020).

Die Betriebskosten dezentraler Anlagen (linke Spalte) werden vom Stromverbrauch (vgl. Steckbrief Wärmepumpen) verursacht und sind abhängig von Umgebungstemperatur und Dämmniveau der Leitungen (Bauer et al. 2018). Die jährlichen Betriebskosten für zentrale Geothermieranlagen (rechte Spalte) in Kombination mit einem ORC-Prozess. Die Kosten variieren in Abhängigkeit zum Anteil der Wärmenutzung (SIB Sachsen 2010).

Weitergehende Hinweise

*Die Daten stammen aus der GEMIS-Datenbank (IINAS 2020)

- 1) Sole-Wasser-Wärmepumpe
- 2) Geothermie-Kraftwerk in Kombination mit einem ORC-Prozess
- 3) Geothermie-Heizwerk

Parameter	Wert
Do's	<ul style="list-style-type: none"> • Die Eignung von Grundstücken sollte vorab geprüft werden • Prüfung der unteren Wasserbehörde ob eine Errichtung problemlos und anzeigefrei möglich ist • Ab einer Teufe von 100 m greift das Bergbaugesetz, was mit deutlich aufwändigeren Genehmigungsverfahren verbunden ist
Hersteller	Der Bundesverband Geothermie stellt ein Firmenregister zur Verfügung.
Geothermie-Kataster	Für einige Länder und Gemeinden gibt es Geothermie-Kataster
Leistungswerte	<ul style="list-style-type: none"> • Erdwärmesonden (Bundesverband Wärmepumpe 2018): 25 – 70 W pro Meter Sondenlänge • Erdwärmekollektoren (Bundesverband Wärmepumpe 2018): 8 – 40 W pro m² Kollektorfläche • Brunnenanlagen (Bundesverband Wärmepumpe 2018): 0,25 m³/h pro kW Verdampferleistung
*CO ₂ -Äquivalent	<ol style="list-style-type: none"> 1. 162 g/kWh 2. 66 g/kWh 3. 17 g/kWh
*Prozesskosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. 0,16 €/kWh 2. 0,13 €/kWh 3. 0,03 €/kWh
*Kum. Energieverbrauch	<ol style="list-style-type: none"> 1. 0,72 kWh/kWh 2. 1,34 kWh/kWh 3. 1,07 kWh/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Es gibt Tiefen- und Oberflächengeothermie die sich bezüglich ihrer Ökobilanz unterscheiden. Laut einer Studie des Umweltbundesamtes haben vor allem tiefengeothermische Anlagen eine gute Emissionsbilanz mit lediglich 37 g CO₂-äq/kWh (Memmler et al., 2017) und liegt damit bei rund eine Zehntel der momentanen Emissionen von Fernwärme. Zudem werden Luftschadstoffe und

Staubemissionen im Vergleich zur Verbrennung von fossilen Energieträgern vermieden. Die Oberflächengeothermie wird unter der Maßnahme "Wärmepumpen" behandelt.

Literaturstellen

Memmler, M., Lauf, T., Wolf, K., Schneider, S., 2017. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Kombinationsmöglichkeiten

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Wärmenetze](#)

[Wärmepumpen](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Power-to-Heat](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Wärmespeicher](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Geringere Umweltauswirkungen als konventionelle Heizsysteme, klimaschonende Alternative

Geringe Grenzkosten

Einsatz für Heiz- und Kühlzwecke

Unabhängigkeit vom Wärmeversorger

Förderungen auf Bundes- und Länderebene

Geringer Oberflächenverbrauch da unterirdisch

Grundlastfähigkeit (Fähigkeit zur konstanten Lieferung von Energie, Windkraft- und Solaranlagen sind wetterabhängig)

Nachteile

Verhältnismäßig hohe Investitionskosten

Stromkosten für die Wärmepumpe

Möglichkeit der Seismizität

Standortabhängigkeit

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
	Nürnbrecht	Deutschland	In Nürnbrecht werden 13 Gebäude durch oberflächennahe Geothermie mit Wärme versorgt. Die Gebäude sind an ein Anergienetz angeschlossen. Die Temperaturen im Netz beträgt zwischen -5 bis 20 °C. Durch die niedrigen Temperaturdifferenzen zwischen Wärmeträgermedium und Umgebung sind die Rohrleitungsverluste gering, wodurch keine Dämmung benötigt wird. Das Medium in der Rohrleitung nimmt die Wärme der oberflächennahen Erdschichten auf. Energiegewinne von 50 Watt je Meter Leitungslänge können entstehen. Durch Wärmepumpen in den Gebäuden wird die Temperatur angehoben und steht für Heizzwecke zur Verfügung. Die abgekühlte Sole erwärmt sich wieder im Laufe ihrer Zirkulation durch das Netz (Energieagentur NRW 2017).
Greencity	Zürich	Schweiz	Im Quartier Greencity in Zürich wird oberflächennahe Geothermie zur zentralen Wärmeversorgung eingesetzt. Vier NH ₃ -Wärmepumpen sorgen für eine Wärme- und Kälteversorgung. Die Wärmepumpen haben eine Leistung von 4,3 MW. Wärmequellen sind das Grundwasser und ein Erdspeicher mit 215 Erdsonden (EWZ 2019).
Geothermiekraftwerk Unterhaching		Deutschland	Die Investitionen beliefen sich auf 100 Millionen Euro. Der Umsatz 2018 lag bei 10 Millionen Euro. Es wird mit einer Amortisationszeit von 20 Jahren gerechnet. Zehn Mitarbeiter arbeiten am Geothermiekraftwerk. Die maximale thermische Förderleistung liegt bei 38 MW und die Produzierte Fernwärme 2018 lag bei 118 909 MWh. Das Fernwärmenetz ist 49 km lang (Geothermie Unterhaching 2019).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Solarthermieranlagen

KURZINFORMATION

Unter Solarthermie versteht man die thermische Nutzung von solarer Strahlung. Die so gewonnene thermische Energie kann zur Trinkwassererwärmung, Heizungsunterstützung sowie zur Prozesswärmebereitstellung genutzt werden. Die Leistung von Solarthermieranlagen reicht von wenigen Kilowatt bis hin zu mehreren Megawatt (Wesselak et al. 2017).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Solarthermie-Anlagen auf Mehrfamilienhäusern (Bildquelle: badenova).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input checked="" type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	10	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
2,9 - 3,5 m ² /kW	Max:	30	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

- Solare Trinkwassererwärmung für Ein- und Zweifamilienhäuser (Wesselak et al. 2017, Reich und Reppich 2018): Kollektorfläche von 4 bis 10 m², Solarspeicher 0,05 m³ je m² Kollektorfläche
- Solare Heizungsunterstützung für Ein- und Zweifamilienhäuser (Wesselak et al. 2017, Reich und Reppich 2018): Kollektorfläche von 10 bis 20 m² Solarspeicher 0,07 m³ je m² Kollektorfläche
- Großanlagen für Einspeisung in ein Fernwärmenetz (Wesselak et al. 2017): Kollektorfläche von mehreren 1000 m², Erdbecken-Wasserspeicher bis 10 000 m³

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Durch eine Scheibe auf den Solarkollektor eindringende Strahlung wird von der Oberfläche absorbiert und in thermische Energie umgewandelt. Geschützt unter einem besonders strahlungsdurchlässigen Spezialglas wandelt ein Absorber die einfallende Strahlung in thermische Energie auf ein Temperaturniveau von 200 – 300 °C (je nach Kollektorart) um (Schabbach und Leibbrandt 2014). Vom Kollektor wird die Wärmeenergie über Rohrleitungen zum Verbraucher transportiert. Als Transportmedium dient Wasser, dem meist ein Frostschutzmittel beigemischt wird.

Aufgrund der stark schwankenden Sonneneinstrahlung werden Kollektoren häufig mit thermischen Energiespeichern kombiniert, welche zeitliche Verschiebungen von Energienachfrage und Energieangebot ausgleichen (Wesselak et al. 2017).

Mit Hilfe von Sonnenkollektoren kann Solarstrahlung mit hohem Wirkungsgrad in Niedertemperaturwärme (< 60 °C) umgewandelt werden (Reich und Reppich 2018). Diese lässt sich beispielsweise zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung nutzen.

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Aufgrund des hohen Flächenbedarfs von Solarthermieranlagen, kann die Wärmeversorgung in dicht besiedelten Quartieren selten ausschließlich durch Solarthermieranlagen realisiert werden. Solarthermie-Anlagen können jedoch gut mit anderen Technologien, wie Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, Wärmenetzen und thermischen Speichern genutzt werden. Allerdings konkurrieren Solarthermieranlagen mit anderen Quartiersmaßnahmen wie z. B. Photovoltaik-Anlagen oder Gründächern (dena 2019).

Systemskizze

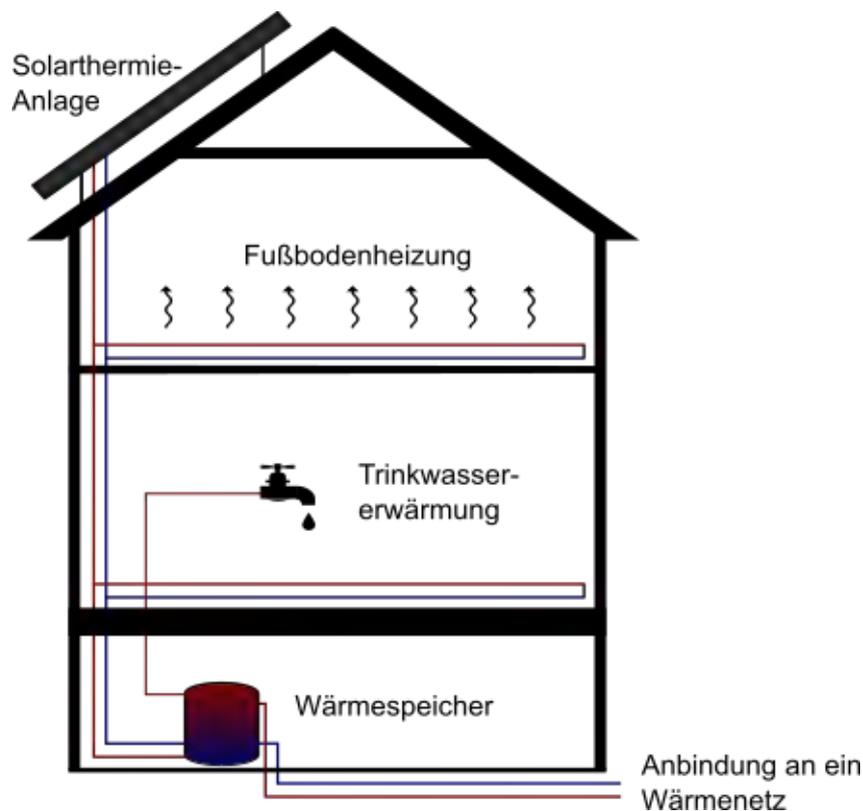


Abb. 2: Schematische Darstellung einer dezentralen Solarthermieranlage.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Auf Bundesebene spielen das Baugesetzbuch und die Baunutzungsverordnung eine übergeordnete Rolle. In den Bundesländern die jeweiligen Landesbauordnungen.

Auf Länderebene gewähren die Landesförderinstitute Kredite. Außerdem gibt es länderspezifische Förderprogramme. Beispielsweise fördert das Programm progres.NRW mit 90 €/m² Brutto-Kollektorfläche.

Norm/Regelwerk

Titel

VDI 6012 Blatt 1.4

Hilfestellung zur Installation von Solarthermieranlagen am Gebäude

VDI 4655 Blatt 1	Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung
Druchgeräte-RL-97/23/EG	Für Solarspeicher über 0,5 bar, Rohrleitungen, Solarkollektoren
Einfach Druckbehälter 2009/105/EG	Innenüberdruck über 0,5 bar, zur Aufnahme von Luft oder Stickstoff für Ausdehnungsgefäße
Maschinenrichtlinie (2006/42/EG bzw. 98/37/EWG)	Für Umwälzpumpen
Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG bzw. 73/23/EWG)	Für Regler und Elektromotoren
EMV-Richtlinie 2004/108/EG	Alle Betriebsmittel, die elektromagnetische Störungen hervorrufen können
Erneuerbare-Energie-Wärme-Gesetz (EEWärmeG)	Nach Inkrafttreten des EEWärmeG gelten bestimmte Mindeststandards für Neubauten, um die Förderung von regenerativen Heizmethoden zu regeln. Durch den Einsatz von Solarthermie-Anlagen können die Standards erfüllt werden.
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Auf Bundesebene bezuschusst das BAFA die Investition in Solarthermieranlagen. Mit dem Förderprogramm „Heizen mit Erneuerbaren Energien“ werden bis zu 30 % der förderfähigen Kosten übernommen.

Aufwand und Kosten

Die Investitionskosten einer Solarthermieranlage sind im Vergleich zu anderen Heizsystemen relativ gering (Energieheld 2019). Bei größeren Solarthermieranlage müssen Wärmenetze eingebunden werden, deren Kosten berücksichtigt werden müssen (siehe „Wärmenetze“).

Die nutzbare Fläche ist abhängig von der Ausrichtung der Gebäude, der Sonneneinstrahlung und der zur Verfügung stehenden Dachfläche. Für Solarthermieranlagen besonders geeignet sind Wohnblöcke mit Flachdächern. Außerdem sollte geprüft werden, ob die Fassadenfläche genutzt werden kann (dena 2019).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/kW		€/kW
min	700	min	5
max	1 930	max	50
üblich		üblich	

Hinweis:

Dezentrale Solarthermieranlagen: 1 100 – 1930 €/kW, je nach Kollektorart (Röhren- oder Flachkollektor) und Verwendungszweck (Trinkwassererwärmung, Raumheizung). Zentrale Solarthermieranlagen: 700 – 900 €/kW (Wesselak et al. 2017).

Die jährlichen Betriebskosten (jährliche Wartung und Instandhaltung, Versicherungskosten) sind bei Freiflächenanlagen mit Anbindung an ein Wärmenetz (Hamburg Institut 2016) (untere Grenze) geringer als bei Dachanlagen (obere Grenze).

Weitergehende Hinweise

*Die Werte beziehen sich auf die Gemis-Datenbank (IINAS 2020). Der erste Werte steht für Flachkollektoren, der zweite für Röhrenkollektoren.

Parameter	Wert
Links	Solarkataster NRW
Hersteller (Kloth 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • AkoTec, Angermünde • Bosch Thermotechnik, Rastede • Buderus, Wetzlar • Viessmann, Allendorf
Wärmeertrag nach (BDEW 2017)	250 kWh/(m ² *a)
*CO ₂ -Äquivalent	23,69 bzw. 33,87 g/kWh
*Kum. Energieverbrauch	1,09 bzw. 1,13 kWh/kWh
*Prozesskosten	0,31 bzw. 0,29 €/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Solarthermieranlagen haben laut Umweltbundesamt eine Emissionsintensität von 17 - 27 g CO₂-äq/kWh was eine deutliche Reduktion (<Faktor 10) gegenüber fossiler Wärmegegewinnung darstellt.

Literaturstellen

Memmler, M., Lauf, T., Wolf, K., Schneider, S., 2017. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Kombinationsmöglichkeiten

[Biomasseheizwerke](#)

[Wärmepumpen](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Wärmenetze](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Wärmespeicher](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Power-to-Heat](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Blue roof](#)

[Gründach](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Förderung durch den Gesetzgeber	Im Sommer wenig Sonne, daher nur als Unterstützung für andere Heizsysteme
Im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen sehr klimafreundlich	Nicht alle Gebäude eignen sich, da die Ausrichtung nicht passt, Dachflächen nicht geeignet sind, Verschattung
Wärmebedarf im Sommer kann vollständig durch Sonnenenergie gedeckt werden	In der Stadt ist das Verhältnis Wärmebedarf zu benötigter Dachfläche nicht optimal, daher System nur zur Unterstützung
Leichte Installation und langlebig	
Solarthermie-Anlagen amortisieren sich für Hausbesitzer innerhalb weniger Jahre	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Solarthermie-Initiative	Freiburg	Deutschland	Mit der „Solarthermie-Initiative“ hat die Stadt Freiburg ein Projekt umgesetzt, um das Potential von Solarthermie in Mehrfamilienhäusern deutlich zu machen. Auf denkmalgeschützten Gebäudeensemble mit 92 Wohneinheiten wurden 76 Flachkollektoren mit einer Gesamtfläche von 191 m ² und einer thermischen Nennleistung von 150 kW installiert. Diese wurden in ein Mikrowärmenetz mit zehn Wärmespeichern, einem BHKW und einem gasbetriebenen Spitzenlastkessel integriert. Im Sommer wird rund 60 Prozent des Wärmebedarfs über Solarthermie-Anlagen gedeckt, im Winter 11 Prozent (Deutsche-Energie-Agentur, 2019). Die Investitionskosten des Projekts lagen bei 1,4 Millionen Euro. Der Jahres-Mischpreis (Arbeitspreis, Grundpreis, Messpreise) lag im Jahr 2016 bei 12,75 Euro pro beheizte Fläche. Bei der Versorgung mit Fernwärme lag der Preis bei 13,80 Euro pro Quadratmeter. Insgesamt werden 50 Tonnen CO ₂ pro Jahr gespart (badenova 2013).
SolarHeatGrid	Ludwigsburg/ Kornwestheim	Deutschland	Das Projekt „SolarHeatGrid“ der Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim hat das Ziel, den Anteil der fossilen Energieträger im Fernwärmenetz zu senken. Im Rahmen des Projekts soll die größte Solarthermie-Anlage Deutschlands in das bestehende Netz integriert werden. Die Spitzenleistung liegt bei 9 MW, die Fläche der Flachkollektoren bei 14 800 m ² . Außerdem wird ein Holzheizkraftwerk mit Speicher installiert. Im Sommer dient der Speicher zur Zwischenspeicherung der tagsüber produzierten Wärme, im Winter verbessert er den Betrieb des Heizwerks. Es wird mit einer jährlichen Wärmeproduktion von 5 500 MW und einer CO ₂ -Einsparung von 3 700 t/a gerechnet (Stadtwerke Ludwigsburg 2019).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Wärmepumpen

KURZINFORMATION

Wärmepumpen sind Arbeitsmaschinen, die durch den Einsatz mechanischer Arbeit Wärmeströme von niedrigen auf höhere Temperaturniveaus heben. Mithilfe thermodynamischer Kreisprozesse kann so beispielsweise Wärme aus Umgebungsluft oder Gewässern nutzbar gemacht werden.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Außenaufstellung einer Luftwärmepumpe (Bildquelle: Ppntori). Rechts: 14 000-kW-Absorptions-Wärmepumpe zur Nutzung industrieller Abwärme in einem österreichischen Fernheizwerk (Bildquelle: Reinraum).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: 18	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,01 - 0,17 m ² /kW	Max: 20	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Die Flächeninanspruchnahme unterscheidet sich nach der genutzten Wärmequelle. Für Sole-Wasser-Wärmepumpen muss ein Erdsonden- oder Erdkollektorfeld erschlossen werden (vgl. Steckbrief Geothermie). Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen beschränkt sich der Flächenaufwand auf einen außenstehenden Ventilator und dem Wärmetauscher im Gebäude. Gemäß VDI 2067 Blatt 1 haben Luft-Wasser-Wärmepumpen eine rechnerische Nutzungsdauer von 18 Jahren, Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-WP eine Nutzungsdauer von 20 Jahren.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Die Funktionsweise einer Wärmepumpe ist vergleichbar mit der eines Kühlschranks. Auf der Primärseite der Wärmepumpe wird ein zirkulierendes Kältemittel verdampft. Durch den dabei stattfindenden Phasenwechsel nimmt das Kältemittel Energie auf. Auf der Sekundärseite der Wärmepumpe wird das Kältemittel durch die Zufuhr mechanischer Energie verflüssigt. Durch

diesen zweiten Phasenwechsel gibt das Kältemittel Energie an das Wärmevertei- und Speichersystem ab. Dieses System verteilt die zur Verfügung gestellte Wärme mithilfe eines Heizmedium (i.d.R. Wasser) an Heizkörper oder Warmwasserspeichern (Bundesverband Wärmepumpen 2020).

Um Wärmepumpen in Heizungssysteme zu integrieren werden eine

- Wärmepumpe,
- Wärmequellenanlage und ein
- Wärmevertei- und Speichersystem

benötigt. Wärmepumpen können zur Nutzung von Wärme aus Gewässern, dem Erdreich oder der Umgebungsluft genutzt werden. Aufgrund der genutzten Wärmequelle können Wärmepumpen folgendermaßen unterteilt werden:

- Luft-Wasser-Wärmepumpen (Außen- oder Raumluft)
- Sole-Wasser-Wärmepumpen (Erdreich)
- Wasser-Wasser-Wärmepumpen (Grund- oder Flusswasser)
- Luft-Luft-Wärmepumpen (Abluft aus Lüftungssystemen)

Der Wirkungsgrad von Wärmepumpen ist stark von der Temperatur des Quellmediums abhängig. Mit sinkender Temperatur der Wärmequelle nimmt der Wirkungsgrad ab. Neben dem Wirkungsgrad ist die Jahresarbeitszahl (JAZ) eine wichtige Kennzahl. Diese gibt das Verhältnis von abgegebener Heizwärme zu dem erforderlichen Aufwand an. Der Coefficient of Performance (COP) ist abhängig vom Betriebspunkt. Der COP allein reicht nicht aus, um auf die Effizienz einer Wärmepumpe zu schließen.

Wärmepumpen lassen sich auch zum Kühlen einsetzen. Der Prozess wird dann umgekehrt durchgeführt, sodass Wärme vom Gebäude in die Umgebungsluft oder das Erdreich transportiert wird.

Neben den Kompressionswärmepumpen können außerdem Sorptionswärmepumpen eingesetzt werden. Während bei Kompressionswärmepumpen der Verdichter durch einen Elektro-, Gas- oder Dieselmotor angetrieben wird, verwenden Sorptionswärmepumpen einen thermischen Verdichter. Um das Kältemittel zu verdichten wird Wärme zugeführt. Die Wärme stammt beispielsweise aus Verbrennungsprozessen, Solarenergie, Geothermie oder aus Wärmenetzen.

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Dezentrale Wärmeversorgung

Bei der dezentralen Wärmeerzeugung befinden sich die Wärmepumpen auf den Grundstücken der Verbraucher. Die Wärmequellenanlage (z. B. ein Erdsondenfeld) kann zentral installiert werden. Hierbei liegt die Temperatur aus der Quellanlage zwischen 10 und 20 °C und wird an ein Anergienetz übergeben. Vom Wärmenetz führen Netzanschlussleitungen zu den Gebäuden. In den Gebäuden erhöhen Wärmepumpen das Temperaturniveau zum Betrieb von Flächenheizungen oder zur Trinkwassererwärmung. Die transportierte Wärme im Anergienetz hat eine geringe Temperatur, die Wärmeverluste sind niedrig. Eine andere Möglichkeit ist, die Umgebungsluft als Wärmequelle zu nutzen.

Zentrale Wärmeversorgung

Bei der zentralen Wärmeversorgung kommen Großwärmepumpen zum Einsatz. Über ein

Fernwärmenetz wird die Wärme per Übergabestation an die Heizsysteme der einzelnen Gebäude übergeben. Es kann Wärme aus verschiedenen Quellen genutzt werden. Zum Beispiel Wärme aus Müllverbrennungsanlagen,

- Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen,
- Heizwerken oder
- Abwärme aus Industrieunternehmen. Außerdem kann die Wärme von Fließgewässern genutzt werden, um Gebäude mit Wärme zu versorgen.

Systemskizze

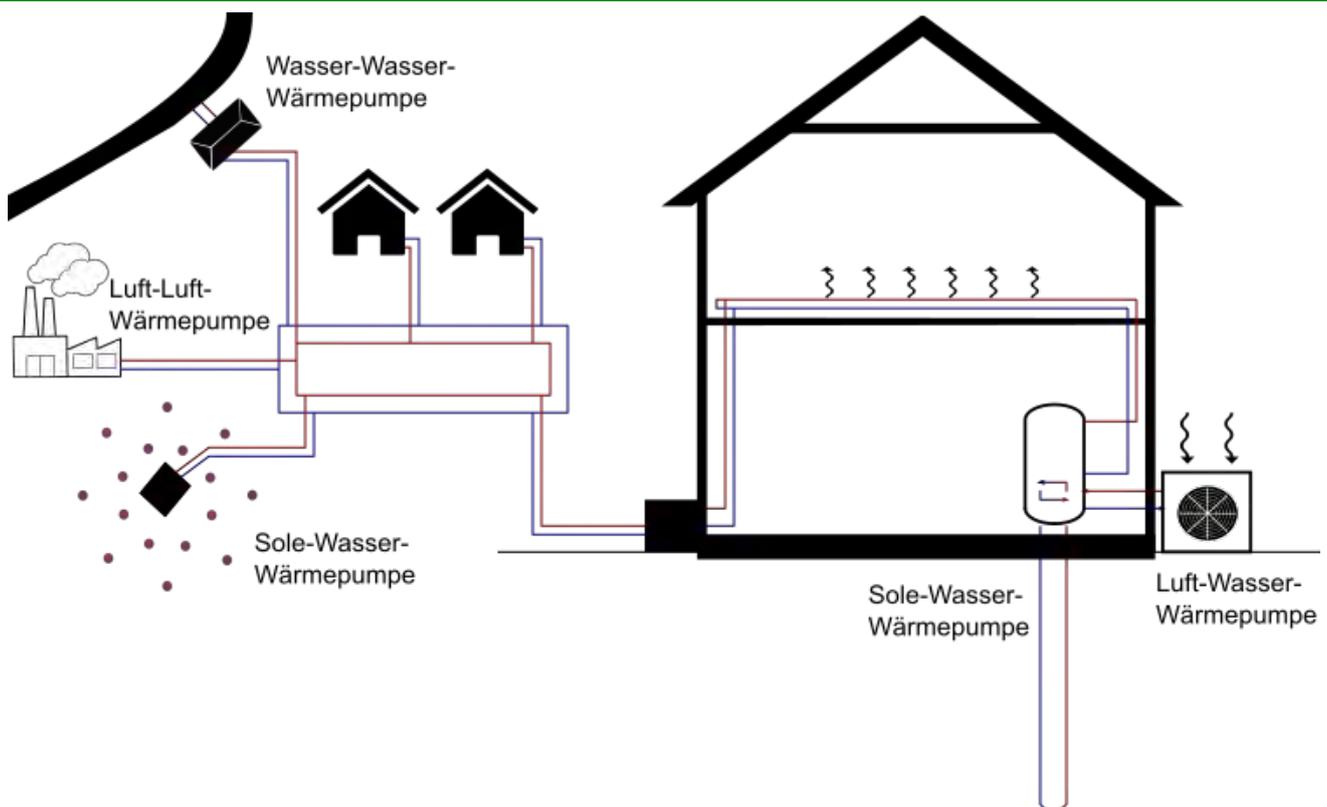


Abb. 2: Links: Zentrale Wärmeerzeugung. Die Großwärmepumpen nutzen die Wärme aus - Flusswasser, - Erdsonden und aus der - Abluft eines Industrieunternehmens und speisen diese in ein Wärmenetz ein. Rechts: Dezentrale Wärmeerzeugung. Die Wärme stammt aus einem Erdsondenfeld und aus der Umgebungsluft.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

In den einzelnen Bundesländern gibt es unterschiedliche Förderprogramme. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) stellt aktuelle Förderprogramm auf Bundes- oder Landesebene unter der [Förderdatenbank](#) zusammen. Außerdem stellen die einzelnen Länderinstitutionen Fördermittel zur Verfügung. In Kombination mit

- Wärmenetzen,
- Geothermie,
- Power-to-Heat oder
- Abwassernutzung ergeben sich weitere Fördermöglichkeiten, die unter den jeweiligen

Maßnahmenbeschreibungen nachgelesen werden können. Weiterhin fördern teilweise lokale Energieversorger Maßnahmen zum Einsatz von Wärmepumpen.

Norm/Regelwerk	Titel
VDI 4645	Heizungsanlagen mit Wärmepumpen
VDI 4650	Berechnung der Jahresarbeitszahl
VDI 4655 Blatt 1	Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung in Wohngebäuden
Unteren Wasserbehörde	Wärmepumpenanlagen, die Grundwasser oder Erdreich als Wärmequelle nutzen, müssen bei der unteren Wasserbehörde angezeigt oder genehmigt werden (Umweltbundesamt 2020).
Bergrechtliche Genehmigung	Bei größeren Erdwärmeanlagen oder ab einer Bohrtiefe von über 100 m ist eine bergrechtliche Genehmigung des Landes erforderlich. Die Anzeige der Bohrung und deren Ergebnisse erfolgt beim Geologischen Dienst des Landes (vgl. Steckbrief Geothermie) (Bundesverband Wärmepumpe 2018).
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Wärmepumpen werden auf Bundesebene durch das BAFA bezuschusst.
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	Zinsgünstige Kredite werden durch die KfW ausgestellt.

Aufwand und Kosten

Investitionskosten		Betriebskosten	
	€/kW		€/kWh
min	1 700	min	0,04
max	2 000	max	0,06
üblich		üblich	

Hinweis:

*Die Daten über die Investitionskosten stammen aus der GEMIS-Datenbank und sind abhängig von der verwendeten Wärmequelle (IINAS 2015). Die Betriebskosten sind abhängig von den Stromkosten der Wärmepumpe. Überschlägig kann man die Kosten folgendermaßen abschätzen:

Kosten je kWh Wärme= Strompreis / Jahresarbeitszahl

Viele Energieversorger bieten einen Wärmepumpentarif an. Der Arbeitspreis liegt bei circa 20 ct/kWh, der Grundpreis bei circa 100 €/a.

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl (SCOP) über 4 wählen • Einhaltung der Schallemissionsrichtwerte • Kombination mit Fußbodenheizungen
Don'ts	<ul style="list-style-type: none"> • Umweltschädliche Kältemittel nutzen z. B. teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW). Besser: Propan, Ammoniak oder CO₂ • Zu groß dimensionierte Wärmepumpen führen zu unnötigen Mehrkosten (Umweltbundesamt 2020)
Hersteller	Vaillant, Viessmann, Bosch, Bartel, Nibe
*Jahresarbeitszahl	<ul style="list-style-type: none"> • Luft-Wasser-WP: 3,2 - 3,3 • Sole-Wasser-WP: 3,8 - 4,6 • Wasser-Wasser-WP: 4,3 - 4,9
*Prozesskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Luft-Wasser-WP: 0,156 €/kWh • Sole-Wasser-WP: 0,161 €/kWh • Wasser-Wasser-WP: 0,157 €/kWh
*CO ₂ -Äquivalent	<ul style="list-style-type: none"> • Luft-Wasser-WP: 202 g/kWh • Sole-Wasser-WP: 162 g/kWh • Wasser-Wasser-WP: 148 g/kWh
*Kumulierter Energieverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> • Luft-Wasser-WP: 0,91 kWh/kWh • Sole-Wasser-WP: 0,72 kWh/kWh • Wasser-Wasser-WP: 0,65 kWh/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Wärmepumpen, die Oberflächengeothermie nutzen haben sehr unterschiedliche Emissionen je nach Technologie. In einer Studie des Umweltbundesamtes hatten Erdgaswärmepumpen die beste Emissionsbilanz mit 52 g CO₂-äq /kWh und die schlechteste die elektrische aerothermische Wärmepumpe mit 700 g CO₂-äq/kWh. Da die Erzeugung von Wärme durch fossile Energieträger zwischen 260-450 g CO₂-äq/ kWh (Fritsche und Rausch, 2008) emittiert, ist die Vorteilhaftigkeit der Wärmepumpe gegenüber Fernwärme und anderer fossiler Energiebereitstellung von der Technologie der Wärmepumpe abhängig.

Literaturstellen

Memmler, M., Lauf, T., Wolf, K., Schneider, S., 2017. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Fritsche, U.R., Rausch, L., 2008. Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Kombinationsmöglichkeiten

[Smart Grids](#)

[Power-to-Heat](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Wärmenetze](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Wärmespeicher](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Bauteilbörsen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Kostenlose, nahezu unerschöpfliche Wärmequellen

Geringe Betriebs- und Wartungskosten

Reduzierung des CO₂-Ausstoßes gegenüber konventionellen Heizsystemen (z. B. Öl-Heizungen)

Für Heiz- und Kühlzwecke

Nachteile

Erschließung der Wärmequelle kann mit hohen Investitionskosten verbunden sein (Geothermie, Grundwasser)

Stromverbrauch (ggf. aus fossilen Energieträgern)

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Greven		Deutschland	In Greven werden 58 Wohneinheiten über 3 zentrale Wärmepumpen mit insgesamt 55,83 kW versorgt. Die JAZ ist größer als 4. Es werden bis zu 72 Tonnen CO ₂ pro Jahr eingespart (Bundesverband Wärmepumpe, 2018)
Lauterecken/Friedberg		Deutschland	In Lauterecken und Friedberg wird Wärmeenergie aus dem Flusswasser gewonnen. Öffentlichen Gebäuden der Stadt Lauterecken werden mit Hilfe eines Nahwärmenetzes und einer Hochtemperaturwärmepumpe (thermeco2) beheizt. Als Wärmequelle dient die Lauter. Einsparungen von 53 t CO ₂ -Emissionen pro Jahr. In Friedberg wurde ein Wärmetauscher direkt im Fließgewässer installiert. Die Wärme des Fließgewässers wird auf ein Wärmeträgermedium übertragen und anschließend als Wärmeenergie für das angrenzende Gebäude genutzt. Die Heizwärmeleistung liegt bei 9 kW.

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Biomasseheizwerke

KURZINFORMATION

Heizwerke sind Anlagen zur Bereitstellung von Wärme, welche mittels Wärmenetzen zu Abnehmern transportiert wird. In Biomasseheizwerken kommt als Brennstoff Biomasse, z. B. Holzhackschnitzel oder Stroh, zum Einsatz.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Holzhackschnitzel-Heizwerk „Wild 3“ Feuerungsanlage der Stadtwerke Merzig in der 1 500 m³ Restholz aus umliegenden Wäldern in Wärme umgewandelt werden. 80 Prozent des gesamten Wärmebedarfs einer Neubausiedlung wird abgedeckt (Bildquelle: SW Merzig) . Rechts: Holzhackschnitzellager (Bildquelle: PLV Energieholz).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Energieverbrauch | <input type="checkbox"/> Energiespeicherung |
| <input type="checkbox"/> Elektrizität | <input checked="" type="checkbox"/> Wärme |
| <input checked="" type="checkbox"/> Brennstoffe | |

- | | | |
|---------------|---|--|
| Fläche | <input type="checkbox"/> Klimaanpassung | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz |
| | <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion | <input type="checkbox"/> Naturschutz |
| | <input type="checkbox"/> Klimaschutz | |

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	15	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,147 m ² /kW	Max:	30	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Biomasse-Heizwerke werden im Leistungsbereich von 300 bis 5 000 kW betrieben (FNR 2020). Befindet sich die Anlage im zu beheizenden Gebäude spricht man beispielsweise von Pelletheizungen (Gammel Engineering 2020). Pelletheizungen befinden sich im Leistungsbereich um 10 kW. Pro kW Heizlast werden etwa 2 m³ Brennstofflager benötigt. Das Lager macht den größten Teil des Flächenbedarfs aus (FNR 2017). Bei Biomasseheizwerken darf nicht vernachlässigt werden, dass Energiepflanzen viel Platz in Anspruch nehmen. Beispielsweise benötigen Solarthermieanlagen für den gleichen Wärmeertrag eine Fläche die um den Faktor 50 geringer ist (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019). Die Daten über den Flächenbedarf und der Nutzungsdauer stammen aus der GEMIS-Datenbank (IINAS 2020).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Zur Wärmebereitstellung werden biogenen Brennstoffe vom Lager zum Heizkessel transportiert und verbrannt. Die entstehende thermische Energie wird über einen Wärmetauscher auf das Wärmeträgermedium übertragen. Über ein Wärmenetz wird die thermische Energie zu den Verbrauchern transportiert. Diese Prozesse laufen, angepasst an den Wärmebedarf, automatisiert ab. Eine Hackschnitzel-Heizungsanlagen besteht aus

- einem Brennstofflager,

- einer Brennstofffördereinrichtung,
- einem Heizkessel,
- einem Wärmeabgabesystem,
- einem Wasserspeicher,
- einer Abgasanlage und
- einem Ascheaustragsystem (FNR 2017).

Wurde die für die Verbrennung genutzte Biomasse extra für diesen Zweck angebaut, wenn sie also bspw. kein Abfallprodukt eines anderen Prozesses ist, ist die Nutzung von Biomasse CO₂-neutral, da das bei der Verbrennung der Biomasse freigesetzte CO₂ beim Pflanzenwachstum gebunden wurde. Biomasse-Heizwerke stellen somit eine ressourcenschonende Alternative zu konventionellen Heizmethoden dar (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz 2020).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Zentrale Wärmeversorgung

Biomasse-Heizwerke im Leistungsbereich von mehreren hundert kW werden zur Quartiersversorgung eingesetzt. Über Wärmenetze wird die Wärme zu den Verbrauchern transportiert. Die Brennstoffe stammen meist aus der umliegenden Region. Die Erzeugung von Biomasse im urbanen Raum ist aufgrund der baulichen Dichte nur bedingt möglich. Potential zum Anbau von Kurzumtriebsplantagen bieten beispielsweise städtische Freiflächen. Auf Kurzumtriebsplantagen werden schnell wachsende Bäume (z. B. Pappeln) angepflanzt, die innerhalb kurzer Umtriebszeiten zu Hackschnitzeln verarbeitet werden. Weiterhin könnte im urbanen Raum die entstehende Luftbelastung problematisch sein und es fehlt an Platz für Brennstofflager. Über Anschlussleitungen könnten Wärmenetze im urbanen Raum mit den Wärmequellen verbunden werden. Biomasse-Heizwerke können mit anderen Wärmeerzeugungseinrichtungen kombiniert und an bestehende Wärmesysteme angeschlossen werden.

Dezentrale Wärmeversorgung

Biomasse kann in Form von Pellet- oder Hackschnitzelheizungen für Ein- oder Mehrfamilienhäuser genutzt werden. Die Biomasse-Heizungsanlagen befinden sich im Leistungsbereich mehrerer kW. Wie auch bei den größeren Anlagen muss ausreichend Lagerfläche vorhanden sein. Holzheizungen lassen sich gut mit Solarthermie-Anlage koppeln.

Systemskizze

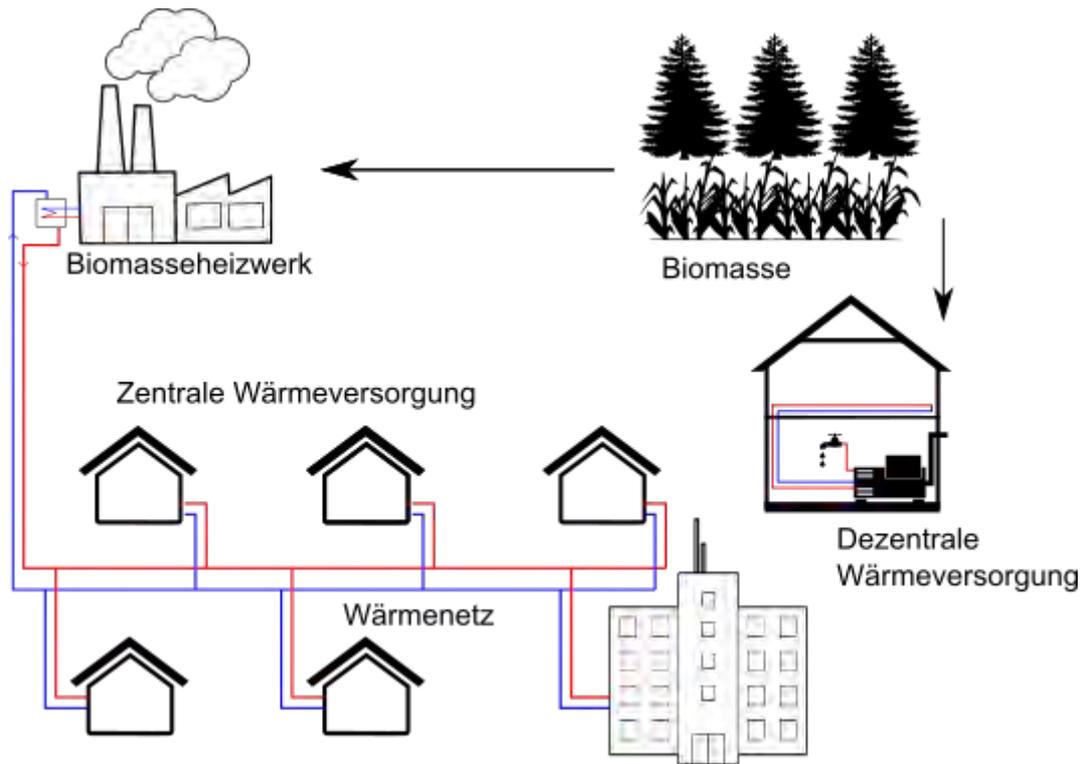


Abb. 2: Vereinfachter Prozessverlauf Biomasseheizwerk.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Norm/Regelwerk	Titel
VDI 6012 Blatt 2.1	Die Richtlinie betrachtet die Anwendung regenerativer, thermischer Energiesysteme in Gebäuden, einschließlich der Anlieferung und Lagerung der Brennstoffe sowie die Entsorgung der Verbrennungsrückstände
DIN EN ISO 17225-4	Brennstoffspezifikationen
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Das BAFA fördert Anlagen beispielsweise mit dem Marktanreizprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“.
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	Die KfW gewährt außerdem zinsgünstige Darlehen, beispielsweise über das Programm 167 „Energieeffizient Sanieren – Ergänzungskredit“.
Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV)	Die Emissionsanforderung der BImSchV müssen eingehalten werden.
Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG)	Nach Einführung des EEWärmeG im Jahre 2009 müssen Neubauten den Wärmebedarf durch anteilige Nutzung von erneuerbaren Energien decken. Die Pflicht gilt als erfüllt, wenn 50 Prozent des Wärmeenergiebedarfs durch feste Biomasse gedeckt wird.

Länderförderinstitute	Auf Länderebene gewähren die Landesförderinstitute Kredite. Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen wird in einigen Ländern ebenfalls bezuschusst. Gefördert werden allerdings nur bestimmte Pflanzenarten (siehe Ratgeber zur Förderung der Landwirtschaftskammer).
progres.nrw	Das Programm des Landes NRW fördert beispielsweise Biomasseanlagen in Verbindung mit thermischen Solaranlagen.

Aufwand und Kosten

Bei Hackschnitzelheizungen sind die Preise relativ gering (Jahr 2019). Der personelle Aufwand ist ebenfalls gering, da das Heizsystem nahezu automatisch läuft. Der wöchentliche Wartungsaufwand liegt zwischen 5 bis 20 Minuten. Einmal jährlich muss eine gründliche Reinigung durch einen Heizungsfachmann vorgenommen werden.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/kW		€/(kW a)	€/kWh
min	400	min	100	0,008
max	900	max	250	0,05
üblich		üblich		

Hinweis:

Über die Hälfte der Kosten für Biomasseheizwerke fallen für die technische Einrichtung an. Für bauliche Maßnahmen fallen 35 Prozent und für die Planung 10 Prozent an. Weiterhin fallen für die Wärmeverteilung Kosten an. Die untere Grenze richtet sich an Biomasseheizwerke die obere Grenze und Biomasseheizungen. Der Wert in der zweiten Zeile bezieht sich auf Biomasseheizungen (IINAS 2015; C.A.R.M.E.N e. V. 2020).

In den jährlichen Betriebskosten (linke Spalte) sind die Kosten für die Brennstoffe enthalten. Die untere Grenze des Wertebereichs richtet sich an Biomasseheizungen (FNR 2014; IINAS 2020; FNR 2017). Die Brennstoffkosten pro Energieinhalt (rechte Spalte) variieren je nach verwendeter und machen den Großteil der Betriebskosten aus. Die untere Grenze des Wertebereichs richtet sich an Biomasseheizungen (FNR 2014).

Weitergehende Hinweise

*Daten stammen aus der Gemis-Datenbank.

Parameter

Wert

Do's	<ul style="list-style-type: none"> • Auf die Qualität der Hackschnitzel achten (Wassergehalt, Stückgröße, Anteil Rinde, Blätter) • Einbau eines Spitzenlastkessels • Kombination mit Solarthermieanlagen • Vorhandensein einer Wärmenetzinfrastruktur
------	---

Hersteller	<ul style="list-style-type: none"> • Vitoflex • Viessmann • Buderus
Wärmegestehungskosten	0,1 - 0,17 €/kWh _{th}
*CO ₂ -Äquivalent	21,11 - 27,88 g/kWh
*Kum. Energieverbrauch	1,10 - 1,29 kWh/kWh
*Prozesskosten	0,04 - 0,10 €/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz eines Biomasseheizwerks gegenüber fossil basierten Energieträgern ist vorteilhaft, da keine fossilen Brennstoffe verbrannt werden. Es wird also lediglich biogenes CO₂ frei (Anonym, 2007). Nichtsdestotrotz werden durch Verbrennung lokale Luftemissionen freigesetzt, sodass ein Zielkonflikt zwischen einer möglichst kurzen Leitungslänge und einer geringen Exposition der Bevölkerung von lokalen Luftemissionen auftritt.

Literaturstellen

Anonym, 2007. CO₂-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Berlin.

Kombinationsmöglichkeiten

[Wärmenetze](#)

[Wärmespeicher](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Bewässerung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Geringe Betriebskosten, besonders wenn die Brennstoffe selbst angebaut und nicht eingekauft werden müssen

Umweltfreundliche Brennstoffe, neutrale CO₂-Bilanz des Brennstoffs

Nachteile

Hohe Investitionskosten

Hoher Platzbedarf, Flächenkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung

Biomasse gibt es in der Region, es muss nicht mehrere tausend km per Lastwagen transportiert werden	Kein Leitungsgebundener Energieträger
Biomasse ist ein nachwachsender Rohstoff	CO ₂ -Emissionen durch die vorgelagerte Prozesskette
Förderung	Lokale Emissionen durch Verbrennung
Leistungsstarke und vollautomatische Anlagen	
Biomasse ist lagerfähig	
Biomasse bietet Unabhängigkeit von Energieimporten (Erdöl, Erdgas)	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Ecoquartier	Pfaffenhofen	Deutschland	Die 180 Wohn- und 20 Gewerbeeinheiten im Ecoquartier Pfaffenhofen werden durch eine Containerheizanlagen versorgt. Als Brennstoff werden Holzpellets eingesetzt. Der Pelletkessel besitzt eine Leistung von 540 kW. Zu Abdeckung des Wärmebedarfs bei Spitzelast wurde die Pellet-Heizanlage mit einem Biomethankessel (900 kW) gekoppelt. Das Nahwärmenetz besitzt eine Länge von 2 310 m, das Volumen des Pufferspeichers liegt bei 20 m ³ (Pilz 2017).
	Achselschwang	Deutschland	Durch ein Heizwerk in Achselschwang werden Wohnhäuser, Schulen und Wirtschaftsgebäude versorgt. Die Anlage wurde auf einem naheliegenden Hof errichtet. Die Heizlast liegt bei 400 kW, die zu beheizende Fläche beträgt 7 000 m ² . CO ₂ -Einsparungen in Höhe von 302 t/a werden realisiert (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2020).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Blockheizkraftwerke

KURZINFORMATION

Blockheizkraftwerke (BHKW) sind Verbrennungsanlagen, welche unter dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) elektrische Energie und Wärme bereitstellen. Die bereitgestellte Leistung kann von einzelnen kW (Nano-BHKW) bis hin zu mehreren hundert kW (Groß-BHKW) reichen (BHKW-Forum e.V. 2020).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Blockheizkraftwerk der Stadtwerke Bamberg, der Brennstoff stammt zum Teil aus schnellwachsenden Pappeln (Bildquelle: Stadtwerke Bamberg). Rechts ein Biogas-Blockheizkraftwerk des Unternehmens 2G mit einer Leistung von bis zu 2 MW, z. B. für Wärmenetze (Bildquelle: 2G).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Energieverbrauch | <input type="checkbox"/> Energiespeicherung |
| <input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität | <input checked="" type="checkbox"/> Wärme |
| <input checked="" type="checkbox"/> Brennstoffe | |

- Fläche**
- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Klimaanpassung | <input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz |
| <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion | <input type="checkbox"/> Naturschutz |
| <input type="checkbox"/> Klimaschutz | |

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|---|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|---|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- | | | |
|------------------------------|------------|---|
| k.A. m ² /EW | Min: 10 | <input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik |
| 0,1 - 0,5 m ² /kW | Max: 30 | <input type="checkbox"/> Stand der Technik |
| | Üblich: 20 | <input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik |

Hinweis:

Der Flächenbedarf ist stark abhängig von der Art der Anlage. Bei zentralen Anlagen werden beispielsweise Maschinenhäuser installiert, bei kleineren Anlagen genügt eine Schallhaube (2G Energy AG 2020). Die Nutzungsdauer ist abhängig von der Anlagenleistung: Groß-BHKW haben in der Regel eine höhere Nutzungsdauer als Nano- und Micro-BHKW.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Blockheizkraftwerke sind technische Anlagen zur parallelen Gewinnung von elektrischer Energie und Wärmeenergie. Durch die Kombination eines Verbrennungsmotors und eines Generators wird elektrische Energie produziert. Die bei der Verbrennung entstehende Abwärme wird mithilfe eines Wärmeübertragers auf ein Wärmeträgermedium (bspw. Wasser) übertragen und so nutzbar gemacht.

Die Wärme kann zur lokalen Wärmeversorgung genutzt oder in ein Wärmenetz eingespeist werden. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist die Bereitstellung von Kälte durch die Kombination mit einer Absorptionskältemaschine. Der Strom kann ebenfalls zur lokalen Versorgung genutzt werden, oder aber ins übergelagerte Netz eingespeist werden.

Durch die parallele Nutzung von Elektrizität und Wärme erreichen Blockheizkraftwerke einen

besonders hohen Wirkungsgrad von bis zu 90 %. Als Brennstoffe kommen z.B. Erdgas, Flüssiggas, Biogas, Heizöl oder auch verschiedene Festbrennstoffe infrage (ub.de Fachwissen 2020).

Die Auslegung eines BHKW kann entweder nach dem Strom- oder Wärmebedarf erfolgen. Wärmegeführte BHKW haben den Vorteil, dass nicht genutzter Strom ins öffentliche Netz gespeist werden kann. Bei stromgeführten BHKW muss die nicht genutzte Wärme in ein Wärmenetz eingespeist oder zwischengespeichert werden. Wärmegeführte BHKW werden beispielsweise zur Energieversorgung in Gebäuden eingesetzt und stromgeführte BHKW zur Einbindung in ein Fernwärmesystem. Weiterhin können BHKWs zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengeschaltet werden. Diese netzgeführten BHKW werden zentral gesteuert und könnten an wind- und sonnenarmen Tagen bei entsprechender Stromnachfrage zugeschaltet werden (ASUE 2015).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Zentrale BHKW

Zentrale Anlagen mit einer Leistung bis 5 MW können zur Versorgung ganzer Stadtteile oder Gemeinden eingesetzt werden. BHKW werden überwiegend stromgeführt betrieben. Die Wärme wird über ein Wärmenetz an die Verbraucher verteilt. Durch eine stromgeführte Betriebsweise können BHKWs eine gute Ergänzung zur fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien darstellen und das vorhandene Energiesystem flexibilisieren. In Kombination mit Wärmespeichern kann auch eine wärmegeführte Betriebsweise eine geeignete Maßnahme zur Begünstigung der Integration erneuerbarer Energien darstellen (dena 2019). Der KWK-Prozess kann auch bei Gasturbinen eingesetzt werden. Gasturbinen erweitern den elektrischen Leistungsbereich bis 400 MW. In Kombination mit Dampfturbinen in einem Gas- und Dampfkraftwerk liegt der Wirkungsgrad bei 60 Prozent.

Dezentrale BHKW

Dezentrale Anlagen haben nur wenige kW elektrische Leistung. BHKW werden überwiegend wärmegeführt betrieben. Der überschüssige Strom kann ins Netz eingespeist oder über Mieterstrommodell verkauft werden. Gemäß des Erneuerbaren-Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG) sind Eigentümer von Neubauten verpflichtet, den Wärmebedarf ihres Gebäudes teilweise durch die Nutzung erneuerbarer Energien zu decken. Diese Verpflichtung kann erfüllt werden, wenn 50 Prozent des Wärmebedarfs aus KWK-Anlagen stammen (Bundesverband KWK 2016).

Ebenfalls gibt es dezentrale Alternativen zu BHKW. Brennstoffzellenheizungen sind beispielsweise effiziente KWK-Anlagen, die gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen. Der Brennstoff (z. B. Erdgas, Biogas, Wasserstoff) wird elektrochemisch in Strom gewandelt. Die dabei entstehende Abwärme wird zum Heizen und zur Warmwasseraufbereitung genutzt. Verglichen mit Öl- und Gasheizsystemen oder konventionellen KWK-Anlagen haben Brennstoffzellensysteme einen höheren Wirkungsgrad und geringeren CO₂-Ausstoß (BMW 2020). Weiterhin können Micro-Gasturbinen für die dezentrale Energieversorgung eingesetzt werden. Micro-Gasturbinen kommen beispielsweise bei Mehrfamilienhäusern oder Gewerbeobjekten zum Einsatz (EnerTwin 2020).

Systemskizze

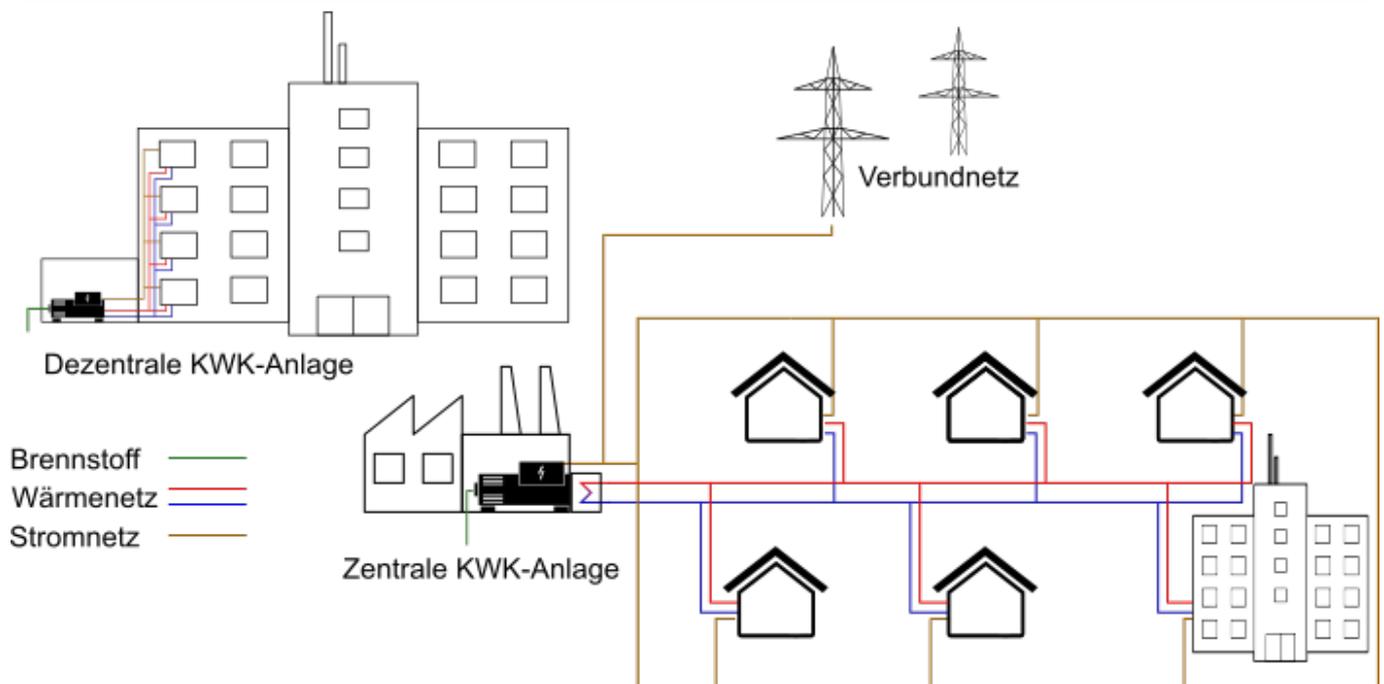


Abb. 2: Links eine dezentrale Anlage, rechts eine zentrale Anlage mit Wärmenetz.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Rechtliche Aspekte

Auf Bundesebene sind vor allem das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) und das Erneuerbare-Energie-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) von Bedeutung. Weiterhin ist das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und die darin enthaltene Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) relevant. In der TA Lärm sind beispielsweise Richtwerte für maximale Lärmemissionen zu finden. Investitionen in BHKWs werden auf Bundesebene gefördert. Je nach verwendeter Brennstoffart gibt es Unterschiede. Beispielsweise existiert ein Förderprogramm des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrollen (BAFA) für effiziente Mini-KWK-Anlagen. Die Förderung bezieht sich auf Öl oder Erdgas betriebene KWK-Anlagen und wird mit bis zu 3 500 Euro bezuschusst. Weiterhin kann es zu einer Entlastung der Energiesteuer oder zu zinsgünstigen Krediten durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau kommen. Auf Länderebene gewähren die Landesförderinstitute Kredite. Außerdem gibt es noch länderspezifische Förderprogramme. Das Land NRW fördert beispielsweise Biogas betriebene BHKWs mit dem Agrarinvestitionsförderprogramm.

Norm/Regelwerk	Titel
VDI 3985	Leitfaden für die Planung, Ausführung und Abnahme von Blockheizkraftwerken mit Verbrennungsmotor oder Gasturbine.
VDI 4608	Begrifflichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung.
VDI 4680	Inhaltlichen Gestaltung von Service-Verträgen für Blockheizkraftwerke.

VDI 2077 Blatt 3	Ermittlung der umlagefähigen Wärmeerzeugungskosten bei der Nutzung von KWK-Anlagen.
VDI 4655 Blatt 1	Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung.
DVGW G 640- 1	Aufstellung von anschlussfertigen BHKW.
Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG)	Nach dem KWKG wird eine Einspeisung mit bis zu 8 ct/kWh gefördert.
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	Nach dem EEG 2017 liegt die geförderte Einspeisung von einem mit Biogas betriebenen BHKW zwischen 10 bis 17 ct/kWh.

Aufwand und Kosten

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/kW		€/kWh	€/a
min	1 000	min	0,013	25
max	1 750	max	0,022	35
üblich		üblich		

Hinweis:

Die Daten für Investitionskosten sowie Betriebskosten stammen aus der GEMIS-Datenbank (IINAS 2020). Es existieren allerdings erhebliche Skaleneffekte (Schaumann und Schmitz 2010). Alternativ Abschätzung der spezifischen Investitionskosten (Preis pro kW elektrische Leistung) nach der Formel:

$$\text{Investitionskosten} = 9\,332.6 \cdot P_{el}^{-0.461}$$

Weitergehende Hinweise

*Bezogen auf ein BHKW mit 500 kW, Daten aus GEMIS-Datenbank (IINAS 2020).

Parameter	Wert
Elektrischer Wirkungsgrad	circa 35 %
Thermischer Wirkungsgrad	circa 55 %
Schallemissionen	BHKWs verursachen Schallemissionen und Vibrationen, sodass nicht jedes BHKW in Wohngebäuden errichtet werden kann.
Hersteller	<ul style="list-style-type: none"> • 2G Energy, Deutschland • Innio Jenbacher GmbH & Co OG, Österreich • MTU Onsite Energy (Kernmarke von Rolls Royce Power Systems), Deutschland • Caterpillar Energy Solutions, Deutschland

*CO ₂ -Äquivalent	390,2 g/kWh
*Prozesskosten	0,06 €/kWh
*Kumulierter Energieverbrauch	1,8650 kWh/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz eines Blockheizkraftwerks hängt vom Typ des Blockheizkraftwerks ab. Die Ökobilanz des Biogasblockheizkraftwerks schneidet am besten ab (Scharte et al., 2016). Verglichen mit der heutigen Wärmebereitstellung ist das Blockheizkraftwerk durchaus den jetzigen fossilen Wärmequellen zu bevorzugen, allerdings können mit fossilen Energieträgern betriebenen Blockheizkraftwerke eine Belastung der CO₂-Bilanz in der Zukunft und ein Hindernis für das Erreichen des Ziels der Klimaneutralität darstellen (Kelly et al., 2014).

Literaturstellen

Kelly, K.A., McManus, M.C., Hammond, G.P., 2014. An energy and carbon life cycle assessment of industrial CHP (combined heat and power) in the context of a low carbon UK. Energy 77. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.051>

Scharte, K., Seefeldt, H., Koch, M.K., 2016. Ökobilanzen von Wärmeerzeugern mit Leistungen von 50 kW bis 500 kW. Bochum.

Kombinationsmöglichkeiten

[Wärmenetze](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Smart Grids](#)

[Wärmepumpen](#)

[Wärmespeicher](#)

[Power-to-Heat](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Demand Response](#)

[Batteriespeicher](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[MAP-Fällung](#)

[Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme, Hoher Nutzungsgrad, umwelt- und ressourcenschonend	Höhere Anschaffungskosten als bei anderen Heizungssystemen
Staatliche Förderung	Integration eines Fernwärmenetzes
Unabhängigkeit vom Energieversorger	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Reinickendorf	Berlin	Deutschland	In Berlin-Reinickendorf werden 1 700 Mieter (Haushalte, Gewerbe, Kindertagesstätten) durch ein BHKW mit Strom und Wärme versorgt. Der Strom wird als Quartiersstrom angeboten und ermöglicht den Mietern eine deutliche Kostenersparnis gegenüber anderen Stromlieferanten. Abgaben wie Stromsteuer und Netznutzungsentgelte entfallen (ses 2015).
Möckernkiez	Berlin	Deutschland	Das Quartier Möckernkiez in Berlin umfasst 471 Wohn- und 20 Gewerbeeinheiten. Die Wärme- und Stromversorgung des Quartiers übernimmt ein BHKW, das mit Biogas betrieben wird. Das BHKW hat eine elektrische Leistung von 143 kW und eine Thermische von 215 kW. Im Winter kommt zur Unterstützung ein Gasdoppelkessel zum Einsatz. Über ein 600 Meter langes Nahwärmenetz wird die Wärme in die Häuser geliefert. Der Strom wird im Rahmen eines Mieterstromtarifs angeboten (Naturstrom AG 2018).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Photovoltaikanlagen

KURZINFORMATION

Photovoltaikanlagen sind technische Anlagen zur Umwandlung solarer Strahlungs- in elektrische Energie. Die Leistung reicht von wenigen Kilowatt auf Dächern von Wohnhäusern bis hin zu mehreren Megawatt bei Freiflächenanlagen (Wesselak und Voswinckel 2016).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Freiflächen-PV-Anlagen (Bildquelle: mrganso). Rechts: Dach-PV-Anlage (Bildquelle: sferrario1968).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz

- Erhalt d. Grunddaseinsfunktion Naturschutz
 Klimaschutz

Legende:

- kein Wirkpotential Wirkpotential vorhanden geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude Grundstück Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	10	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
5 - 10 m ² /kW	Max:	30	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

In erster Linie abhängig von der Leistungsdichte der eingesetzten Module sowie dem Abstand zwischen der einzelnen Module (bei Freiflächenanlagen).

Photovoltaikmodule haben pro Jahr etwa einen Leistungsverlust von 0,5 %.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Von der Sonne einfallende nutzbare Strahlung wird in Photovoltaikanlagen durch Halbleiterdioden und der Zuhilfenahme des Photoeffekts in elektrische Energie in Form von Gleichstrom umgewandelt (Wesselak und Voswinckel 2016). Durch einen nachgeschalteten Wechselstromrichter kann dieser in Wechselstrom, bzw. Dreiphasenwechselstrom, umgewandelt werden. Der erzeugte Strom kann lokal genutzt oder ins übergelagerte Stromnetz eingespeist werden (Wagner 2015).

Je nach Ausrichtung der Photovoltaikzelle (Azimut- und Neigungswinkel) und dem sich daraus ergebenden Winkel zur Sonne, lassen sich zu unterschiedlichen Tageszeiten unterschiedliche Anteile der eintreffenden Strahlung nutzen (Wagner 2015).

Photovoltaikanlagen können auch zur Wärmeversorgung eingesetzt werden. Bei Umwandlung von solarer Strahlungsenergie in elektrische Energie entsteht Abwärme. Um diese Abwärme nutzbar zu machen, werden Hybridkollektoren eingesetzt. Dazu wird auf der Rückseite eines Photovoltaik-Moduls eine Absorberplatte installiert. Die Absorberplatte kühlt das Photovoltaik-Modul, verbessert die elektrische Leistung und wandelt die Abwärme in nutzbare Niedertemperaturwärme beispielsweise zur Warmwasseraufbereitung um (Tian und Zhao 2013).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

In Quartieren können zentrale Photovoltaik-Anlagen auf Freiflächen (z. B. Solar-Kraftwerke) oder dezentral auf Gebäuden (z. B. Dachanlagen) installiert werden.

Dezentrale Stromversorgung

Die Leistung von Dachphotovoltaikanlagen reicht vom einstelligen kW-Bereich (z. B. Hausdachanlagen) bis hin zu einigen MW auf industriellen Dachflächen. Die Einspeisevergütung liegt bei Anlagen bis 10 kW bei 9,30 ct/kWh (Stand Mai 2020). Es können verschiedene Anwendungsfälle unterschieden werden. Eigenversorgungsmodelle bieten Anreize, erneuerbaren Strom vor Ort selbst zu produzieren und zu nutzen. Hierbei entfällt der Transportvorgang über das Netz. Eigenversorger zahlen keine Netzentgelte und profitieren teilweise von einer Befreiung der Stromsteuer und Reduzierung der Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)-Umlage. Mieterstrommodelle kommen in Mehrfamilienhäusern zum Einsatz. Nach dem Mieterstromgesetz erhalten Anlagenbetreiber eine Mieterstrom-Förderung nach dem EEG (vgl. Steckbrief Mieterstrommodelle). Contracting-Modelle sind eine Kooperationsform zwischen einem Energiedienstleister und einem Contracting-Nehmer. Je nach Vertragsgestaltung stellt ein Gebäudeeigentümer (Contracting-Nehmer) dem Energiedienstleister eine ungenutzte Dachfläche über eine bestimmte Laufzeit für die Installation und den Betrieb einer Photovoltaikanlage zur Verfügung. Der Energiedienstleister verpflichtet sich, dem Gebäudeeigentümer mit dem Strom für einen festen Preis zu versorgen und der Gebäudeeigentümer diesen abzunehmen. Die Finanzierung, Wartung und Pflege übernimmt der Energiedienstleister (dena 2019).

Zentrale Stromversorgung

Freiflächenanlagen befinden sich im MW-Leistungsbereich und können theoretische auf Flächen bis hin zu mehreren km² errichtet werden. Durch die große Flächeninanspruchnahme können Freiflächenanlagen nur bedingt innerhalb geschlossener Quartiere umgesetzt werden. Aufgrund ihrer Dimensionen haben Freiflächenanlagen gegenüber Dachanlagen Kostenvorteile und sind rentabel.

Systemskizze

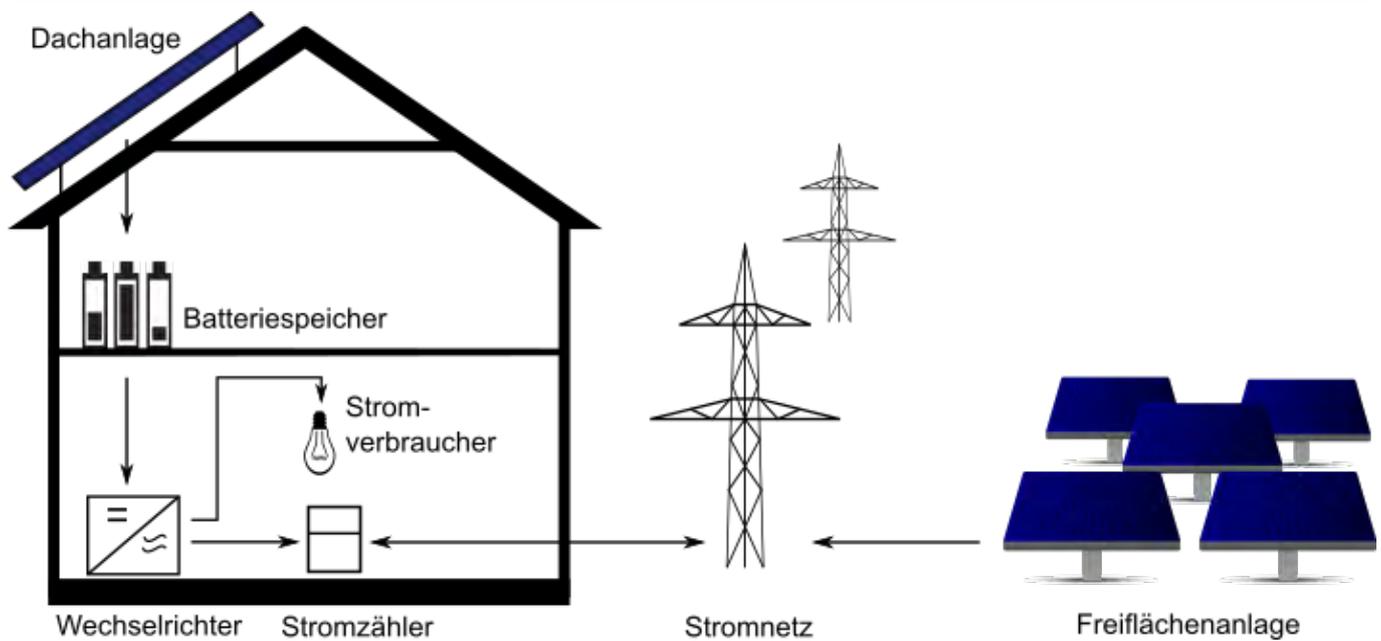


Abb. 2: Links: Dachphotovoltaik-Anlage. Rechts: Freiflächenanlage.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Norm/Regelwerk	Titel
DIN EN 62446-1 VDE 0126-23-1:2019-04	Photovoltaik-Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung
DIN VDE 0100-712 VDE 0100-712:2016-10	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 7-712 Anforderungen für Betriebsstätten Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-Stromversorgungssysteme
DIN EN 62305-3 VDE 0185-305-3 Beiblatt 5:2014-02	Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 5: Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme
VDI 6012 Blatt 1.4	Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude - Grundlagen - Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	Durch das EEG ist beispielsweise die Vergütung festgelegt. Einspeisevergütungen werden nur für Photovoltaikanlagen bis 100 Kilowatt gewährt. Für größere Anlagen ist eine Direktvermarktung verpflichtend. Eine Marktprämie gleicht die Differenz zwischen niedrigen Börsenpreisen und relativ hoher Einspeisevergütung aus. Anlagen ab einer Nennleistung von 750 kW sind zur Teilnahme an Ausschreibungen verpflichtet (Wirth 2021). Außerdem auf welchen Freiflächenanlagen errichtet werden dürfen. Die Größe von Freiflächenanlagen ist auf 10 MW begrenzt.
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	Die KfW fördert beispielsweise mit dem Programm „Energieeffizient Bauen“ Anlagen zur Stromerzeugung.

Aufwand und Kosten

Investitionskosten		Betriebskosten	
	€/kW		€/kW
min	1 000	min	10
max	1 500	max	15
üblich		üblich	

Hinweis:

Die jährlichen Betriebskosten liegen bei circa 1 % der Investitionskosten (Wirth 2021). Je nach Anlagengröße werden Photovoltaikanlagen versichert, wodurch zusätzlich Kosten anfallen.

Weitergehende Hinweise

*Werte aus der Gemis-Datenbank (IINAS 2020).

Parameter	Wert
Wirkungsgrad	ca. 20 % (Wesselak und Voswinckel 2016)
Degradation	ca. 0,5 - 1 %/a
Do's	<ul style="list-style-type: none"> • Photovoltaikanlagen nach Süden, Osten oder Westen ausrichten • Leistung der Photovoltaikanlagen an den eigenen Stromverbrauch anpassen: Vier PV-Module bedecken circa 6 m², wodurch im Jahr 1 000 kWh produziert werden. • Kombination mit Wärmepumpen • Verschattung beachten • Beispielsweise Veranda nutzen (Glas-Glas-Module) • Stromspeicher zur Erhöhung des Eigenverbrauchs
Hersteller/Marktanteil (Breitkopf 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Jinko Solar (China) - 9,86 % • Trina Solar (China) - 9,25 % • JA Solar (China) - 7,62 % • Canadian Solar (Kanada) - 6,96 % • Hanwha Q-Cells (Deutschland) - 5,49 %
Fördermittelsätze	Bundesnetzagentur
*CO ₂ -Äquivalente	26,92 g/kWh
*Kum. Energieverbrauch	1,007 kWh/kWh
*Prozesskosten	0,22 €/kWh

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien	Zielkonflikte
Baustoffe	Einsatz kritischer Stoffe (Lithium, ...)
Energie	Energieintensive Produktion
Fläche	Benötigte Fläche darf nicht anderweitig genutzt werden.

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz von Photovoltaikanlagen ist gegenüber fossiler Stromerzeugung durchaus positiv. Das Umweltbundesamt bestimmt eine CO₂-Intensität von 77,81 g CO₂-äq/kWh, was deutlich (Faktor 10) unter der Emissionsintensität von fossiler Stromerzeugung liegt (Memmler et al. 2017). Eine neuere Studie, die momentane Produktionsentwicklungen berücksichtigt kommt sogar auf Emissionsintensitäten, die deutlich unter denen des Umweltbundesamtes liegen nämlich 13–30 g CO₂-äq/kWh (Müller et al., 2021). Im Sinne der Ressourcenschonung und da Photovoltaikmodule teilweise toxische Substanzen enthalten, sollte unbedingt auf eine fachgerechte Entsorgung der Anlagen geachtet werden.

Literaturstellen

Memmler, M., Lauf, T., Wolf, K., Schneider, S., 2017. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Müller, A., Friedrich, L., Reichel, C., Herceg, S., Mittag, M., Neuhaus, D.H., 2021. A comparative life cycle assessment of silicon PV modules: Impact of module design, manufacturing location and inventory. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 230. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111277>

Kombinationsmöglichkeiten

[Batteriespeicher](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Wärmepumpen](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Power-to-Heat](#)

[Smart Grids](#)

[Power-to-Gas](#)

[Demand Response](#)

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[MAP-Fällung](#)

[Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

CO₂-neutraler Betrieb

Lokale Stromproduktion

Beliebig skalierbar

Nachteile

Energieintensive Produktion

Bedarf an seltenen Erden

Witterungsabhängige Stromproduktion

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Neue Weststadt	Esslingen	Deutschland	In Esslingen entsteht ein Stadtquartier mit 500 Wohnungen und Büro- und Gewerbeflächen. Auf den Gebäuden werden Photovoltaikanlagen errichtet. Projektziel ist, die gebäudebezogenen Emissionen auf eine Tonne CO ₂ zu senken. Die Vernetzung der Versorgungssysteme erfolgt über ein „Smart Grid“ (vgl. Steckbrief Smart Grid). Im Quartierszentrum entsteht eine Energiezentrale mit einem Elektrolyseur, der überschüssigen Strom aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen in Wasserstoff umwandelt. Der Wasserstoff wird in das Erdgasnetz eingespeist, kann aber auch für den Bereich Mobilität, Industrie oder zur bedarfsgerechten Rückverstromung eingesetzt werden (Walther 2021).
Reka Feriendorf		Schweiz	In dem Feriendorf wurden sieben Mehrfamilienhäuser, ein Empfangshaus und ein Hallenbad mit Hybridkollektoren ausgestattet. Die Anlage hat eine Leistung von 102,3 kW und beansprucht Dachflächen von 672 m ² . Weiterhin versorgen vier Erdsonden-Wärmepumpen das Dorf mit Wärme. Die Wärme der Hybridkollektoren kann zur Regeneration der Wärmequelle oder direkt durch die Wärmepumpe genutzt werden. Im Jahr 2017 lag der elektrische Ertrag bei 130 kWh/(m ² a) und der thermische Ertrag bei 400 kWh/(m ² a) (Müller 2019).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Kleinwindkraftanlagen

KURZINFORMATION

Windkraftanlagen wandeln kinetische Energie des Windes in elektrische Energie um. Während große Offshore-Anlagen eine Leistung von mehreren MW besitzen (GE 2019), haben die meisten Kleinwindkraftanlagen eine Leistung im Bereich von 1 bis 50 kW (Bundesverband WindEnergie 2015).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Windwalze von NeoVenti, Nennleistung 1,5 kW (Bildquelle: NeoVenti).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	10	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,5 - 1,5 m ² /kW	Max:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Daten aus der GEMIS-Datenbank, Bezug auf eine 2,2 MW Onshore-Anlage (IINAS 2020). Steht ein Hindernis in der Hauptwindrichtung einer Kleinwindkraftanlage sollte der Abstand das Zwanzigfache der Höhe des Hindernisses betragen (Reiterer 2014).

Die Nutzungsdauer ist abhängig von Produktqualität, Standort und Wartung (Verbraucherzentrale NRW 2017).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Innerhalb von Siedlungsgebieten weht der Wind oft schwach und turbulent. Auf Gebäudedächern kann es außerdem zu sogenannten Turbulenzblasen kommen, welche nicht von Kleinwindkraftanlagen genutzt werden können. Für die Errichtung von Kleinwindkraftanlagen eignen sich daher vor allem hohe Gebäude, auf denen Windzirkulationen wenig von umliegenden Gebäuden beeinflusst werden (Bäthge und Probst 2018). Die Eignung von Gebäuden für den Einsatz von Kleinwindkraftanlagen muss deshalb durch Windmessungen bestätigt werden (Jüttemann 2020).

Nach ihrer aerodynamischen Wirkungsweise können Windkraftanlagen in Widerstands- und Auftriebsläufer unterteilt werden. Da Widerstandsläufer einen relativ niedrigeren Wirkungsgrad haben, sind Auftriebsläufer die gängige Form in der Praxis. Hinsichtlich konstruktiver Gesichtspunkte unterscheidet man zwischen Rotoren mit vertikaler und horizontaler Drehachse (Hau 2016). Die Hauptbestandteile einer Windkraftanlage sind der Turm, die Rotoren und das Maschinenhaus.

Während sich bei Windkraftanlagen im MW-Bereich Bauformen mit horizontaler Drehachse durchgesetzt haben, kommen bei Kleinwindenergieanlagen auch Anlagen mit vertikaler Drehachse zum Einsatz. Nach einer Studie der TU Berlin ist die ideale Windturbine einer Stadt klein, vertikal und ein Auftriebsläufer (Bäthge und Probst 2018). Durch die meist geringe

Blattspitzengeschwindigkeit der Vertikalachs-Anlagen sind die Schallemissionen gering und fordern geringe Abstände zu kritischen Immissionsorten (HTW Berlin 2013).

Zu den Anlagen mit vertikalen Drehachsen gehört beispielsweise die Bauformen des Darrieus- oder des abgewandelten H-Rotors. Darrieus-Rotoren werden wie Horizontalachsen-Rotoren mit zwei oder drei Rotorblättern gebaut und nutzen den aerodynamischen Auftrieb. Darrieus-Rotoren sind windrichtungsunabhängig und die mechanischen, elektrischen Komponenten können am Boden angebracht werden. Nachteilig ist die geringe Schnellläufigkeit, die Unfähigkeit von allein anzulaufen und die fehlende Verstellbarkeit der Rotoren (Hau 2016).

Eine weitere Bauform zur Nutzung innerstädtischer Winde ist die Windwalze (siehe Abbildung) der Firma NeoVenti. Dabei handelt es sich um einen Widerstandsläufer, der auf Gebäudedachkanten montiert wird, um dort vertikale Aufwinde entlang der Gebäudewand zu nutzen (NeoVenti 2020).

Neben der Installation von Kleinwindkraftanlagen existieren weitere Geschäftsmodelle im Zusammenhang mit der Windkraftnutzung. So können beispielsweise Energielieferverträge (Power Purchase Agreements, kurz PPA) geschlossen werden. Dieses Model lohnt sich besonders für Betreiber von Windenergieanlagen, welche nicht (mehr) nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet werden.

Systemskizze

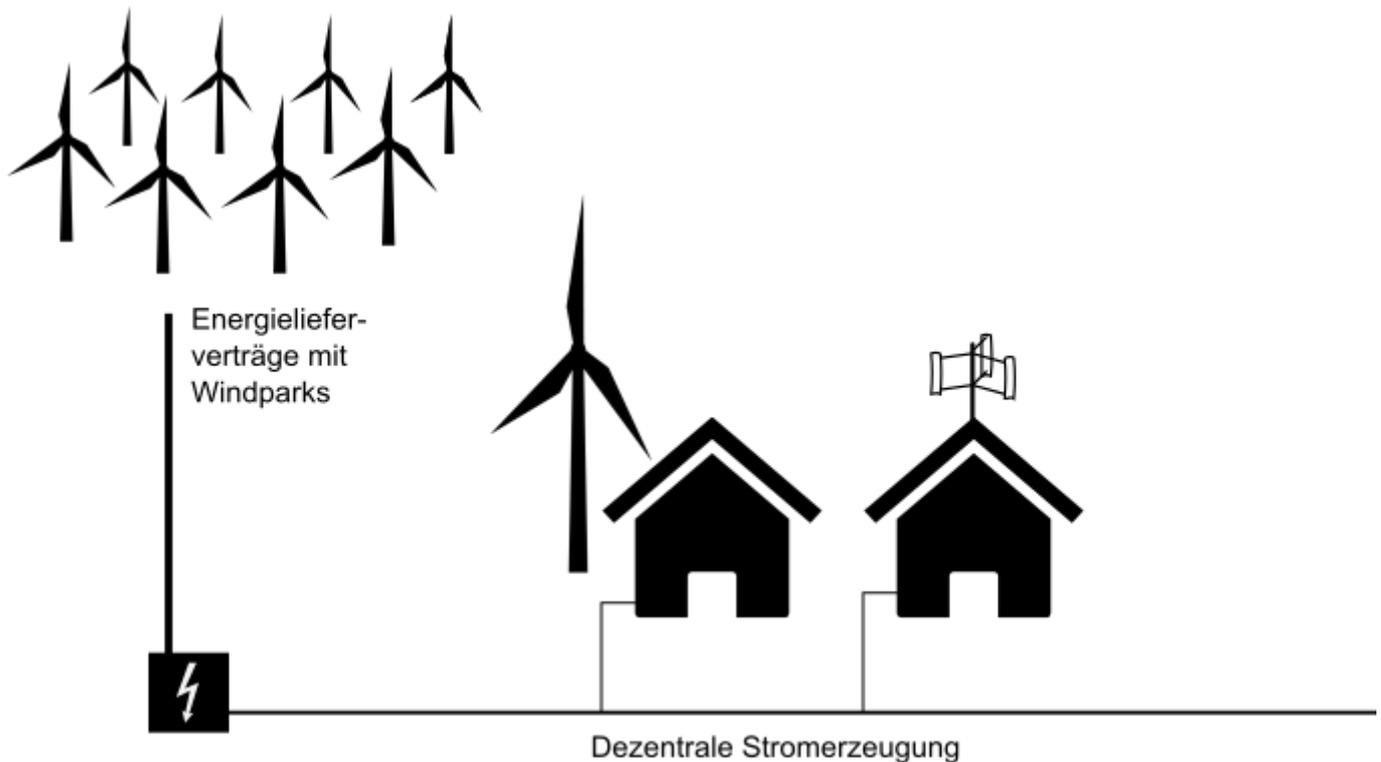


Abb. 2: Links Windpark zur Lieferung von Strom über PPA; rechts dezentrale Stromerzeugung mit einer herkömmlichen Windkraftanlage (ländlicher Raum) und einem auf dem Dach befestigtem H-Rotor (urbaner Raum).

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Bei Kleinwindkraftanlagen ist die Standortfindung anspruchsvoll. Das Windpotential kann je nach Region stark variieren, außerdem hat das Gelände großen Einfluss auf das Strömungsverhalten des Windes. Vor Beginn der Planung muss das Windpotenzial am Standort untersucht werden (C.A.R.M.E.N e. V. 2015).

Auf Bundesebene besteht keine einheitliche Regelung für die Genehmigung von Kleinwindkraftanlagen. Je nach Bundesland unterscheidet sich das Genehmigungsverfahren. So sind z. B. in NRW Kleinwindkraftanlagen bis 10 m Höhe ohne Baugenehmigung möglich, wobei die Höhe der Windkraftanlage das maßgebliche Kriterium ist, nicht die des Gebäudes. Außerdem muss die Anlage optisch ins Baugebiet passen und es muss Rücksicht auf die Nachbarn genommen werden. Der erzeugte Strom dient zum einen des Eigenbedarfs, kann aber auch ins Netz eingespeist werden. Wird der Strom ins Netz eingespeist erfolgt eine Vergütung nach dem erneuerbaren Energiegesetz (EEG) (C.A.R.M.E.N e. V. 2015). Für Anlagen mit einer Leistung unter 10 kW und einer Jahresproduktion von 10 kWh sowie bei Inselanlagen entfällt die EEG-Umlage für selbst verbrauchten Strom. Für Anlagen über 10 kW fällt eine Abgabe in Höhe von 40 % der EEG-Umlage an (Verbraucherzentrale NRW 2017).

Norm/Regelwerk	Titel
Baunutzungsverordnung (BauNVO)	Beispielsweise § 14 - Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke
Baugesetzbuch (BauGB)	Beispielsweise § 249 - Sonderregelungen zur Windenergie
Europäischen Norm DIN EN / IEC 61400	Beispielsweise Auslegungskriterien für kleine Windenergieanlagen
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
Bundesimmissionsschutz-Gesetz	Anlässlich des Schattenwurfs durch den Rotor
Richtlinie für Windenergieanlagen vom Deutschen Institut für Bautechnik	Richtlinie für Betrieb und Sicherheit der Anlagen

Aufwand und Kosten

Die Kosten einer Kleinwindanlage (bis 30 kW) variieren stark, je nach Modell und Standorterschließung. Im Vergleich zu Photovoltaik-Anlagen sind die Stromgestehungskosten vergleichsweise hoch und liegen zwischen 15 bis 30 ct/kWh. Beispielsweise liegen die Investitionskosten einer marktübliche 600-Watt-Kleinwindanlage bei 1 760 € und die Betriebs- und Finanzierungskosten bei 53,20 €/a. Der Jahresertrag bei einer mittleren Geschwindigkeit von 4 m/s und $k = 1,8$ liegt bei 548 kWh/a (C.A.R.M.E.N e. V. 2015).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/kW		€/kW*a
min	3 000	min	60
max	9 000	max	180
üblich		üblich	

Hinweis:

Die Investitionskosten für Anlagen bis 30 kW beziehen sich auf die Nennleistung. Kleinwindkraftanlagen auf Wohngebäuden mit wenigen hundert Watt haben in der Regel geringere Kosten. Die Betriebs- und Finanzierungskosten liegen bei 1,5 bis 2 % der Investitionskosten. Die Kosten setzen sich aus Reparaturkosten, Flächenpacht, Zinsen und Rücklagen für den Anlagenbau zusammen (C.A.R.M.E.N e. V. 2015).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's (C.A.R.M.E.N e. V. 2015; Verbraucherzentrale NRW 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Standortvoraussetzungen (z. B. Ist der geplante Anlagenstandort aus der Hauptwindrichtung frei anströmbar?) • Genehmigungsvoraussetzungen (z. B. Welche Form von Genehmigungsverfahren ist auf die Anlage anzuwenden?) • Anlagentechnik (z. B. Ist die Anlage auf die vorherrschenden Windbedingungen abgestimmt?) • Angebotsprüfung (z. B. Wurden Angebote von verschiedenen Anbietern eingeholt?) • Betriebsweise (z. B. Ist die Anlage gegen Schäden versichert?) • Rotorhöhe mindestens doppelt so hoch wie das Nachbargebäude
Don'ts	<ul style="list-style-type: none"> • Windkraftpotenzial nicht überprüft • Dialog mit Nachbarn, Behörden unterschätzen • Bevorzugung Dachmontage
Hersteller	NeoVenti, Promekon, Britwind, Braun Windturbinen
Fördermittel	Einspeisevergütung nach dem EEG
Weiterführende Links	<ul style="list-style-type: none"> • Beaufort-Skala (Einschätzung der Windstärke) • Windatlas • Windkarten des Deutschen Wetterdienstes

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz einer Windkraftanlage ist im Vergleich zu fossilen Energieträgern sehr positiv. Die CO₂-Emissionen liegen laut eines Berichtes des Umweltbundesamtes bei 10,69 g CO₂-äq/kWh wobei dieser Emissionswert deutlich unter den durchschnittlichen Emissionen pro kWh der fossilen Stromerzeugung liegt (fast um den Faktor 70 darunter). Bei Windkraft sollte zudem darauf geachtet werden, dass sich die Windräder nicht in Vögelflugrouten befinden, wovon die Auswirkungen mit der

Ökobilanz bisher nicht quantifizierbar sind. Spezielle Aussagen über die Größe der Windanlage und deren Emissionsbilanz sind in dem Bericht des Umweltbundesamtes nicht enthalten und müssten separat erhoben werden. Spezielle Studien für Kleinwindkraftanlagen sind uns nicht bekannt.

Literaturstellen

Memmler, M., Lauf, T., Wolf, K., Schneider, S., 2017. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Kombinationsmöglichkeiten

[Batteriespeicher](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Smart Grids](#)

[Demand Response](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[MAP-Fällung](#)

[Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Strom aus erneuerbaren Energien, umweltfreundlich

Förderung nach dem EEG

Nachteile

Relativ hoher Platzbedarf

Anwohner sehen Windkraftanlagen aus ästhetischen Gründen kritisch

Windaufkommen und Windstärke unterliegen starken Schwankungen

Netzausbau

Schallemissionen

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Bahnhof Berlin-Südkreuz	Berlin	Deutschland	Auf dem Dach des Bahnhofs wurden zwei Kleinwindkraftanlagen montiert. Die Anlagen arbeiten nach dem Darrieus-Prinzip. Der zur Verfügung gestellte Strom dient zur Aufladung von Elektroautos und Elektrofahrrädern. Die Leistung der Anlage liegt bei 2 Kilowatt. Die Elektrofahrzeuge werden über eine intelligente Ladesäule geladen, wodurch die Batterien der Fahrzeuge als Speicher arbeiten können (vgl. Steckbrief Power-to-Mobility) (Deutsche Bahn 2014).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Kleinstwasserkraftanlagen

KURZINFORMATION

Kleinstwasserkraftwerke sind technische Anlagen zur Umwandlung der mechanischen Energie des Wassers in elektrische Energie und können in Quartieren mit Laufgewässern eingesetzt werden.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Bayerns ältestes Laufwasserkraftwerk mit drei Francisturbinen (Bildquelle: Richard Huber). Rechts: Unterschlächtiges Zuppinger Wasserrad (Bildquelle: Andreas Mühlbauer).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input checked="" type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme

Brennstoffe

Fläche

Klimaanpassung

Gesundheitsschutz

Erhalt d. Grunddaseinsfunktion

Naturschutz

Klimaschutz

Legende:

kein Wirkpotential

Wirkpotential vorhanden

geringes Wirkpotential

mittleres Wirkpotential

hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

Gebäude

Grundstück

Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW

Min: 25

Stand der Wissenschaft und Technik

Max: 60

Stand der Technik

Üblich: 50

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Bauliche Anlagenteile haben eine Nutzungsdauer zwischen 50 - 60 Jahre, maschinelle Anlagenteile zwischen 33- 40 Jahre und elektrische Anlagenteile zwischen 23 - 30 Jahre (Giesecke, Heimerl und Mosonyi 2014).

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Wasserkraftwerke sind technische Anlagen zur Umwandlung der mechanischen Energie des Wassers in elektrische Energie. Ausgenommen von Wellen-, Osmose- und Gezeitenkraftwerke ist das Grundprinzip der verschiedenen Anlagentypen gleich: Die Energie des Wassers wird in eine mechanische Drehbewegung umgewandelt, welche einen Generator antreibt, welcher wiederum elektrische Energie erzeugt (Giesecke, Heimerl und Mosonyi 2014).

Wasserkraftwerke können nach (Giesecke, Heimerl und Mosonyi 2014) anhand der Größe wie folgt unterschieden werden:

- große Wasserkraft über 100 MW,
- mittelgroße Wasserkraft zwischen 1 und 100 MW und
- Kleinstwasserkraft unter 1 MW.

Kleine Anlagen unter 100 kW dienen hauptsächlich zur Deckung des Eigenbedarfs von Industrieunternehmen und Gewerbetreibende. Der überschüssige Strom wird in das öffentliche

Netz eingespeist. Allerdings werden die Anlagen seit der Einführung des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) auch vermehrt aus kommerziellen Gründen betrieben (Giesecke, Heimerl und Mosonyi 2014).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Kleinstwasserkraftwerke können im Quartier zur zentralen Stromversorgung eingesetzt werden. Quartier mit bestehenden Querbauwerken haben ein hohes Potential zur Wasserkraftnutzung. Durch Repowering-Maßnahmen können alte Anlagen wieder in Betrieb genommen werden oder es werden neue Wasserkraftanlagen zur Quartiersversorgung eingesetzt.

Systemskizze

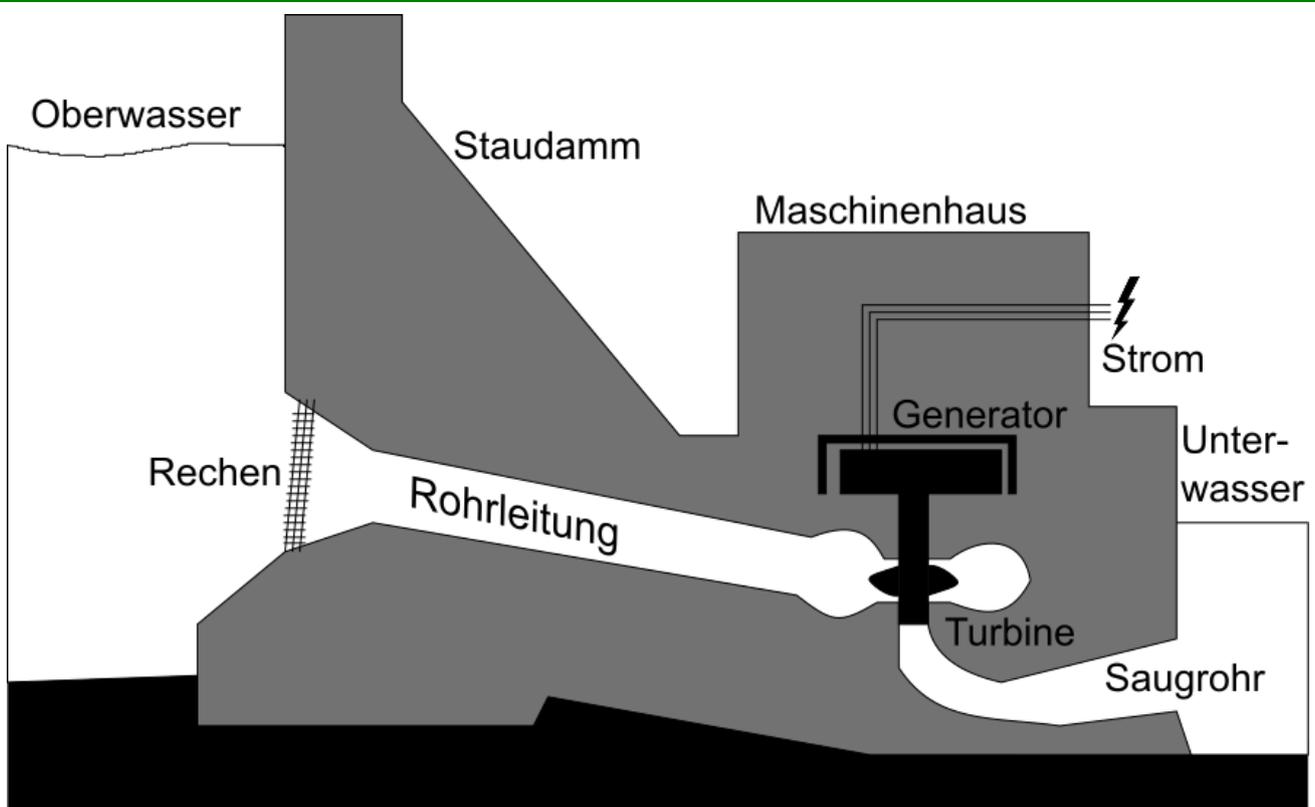


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Laufwasserkraftwerks.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Weitere wichtige Gesetze in Deutschland sind:

- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)
- Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) (Böttcher 2014)

Norm/Regelwerk

Titel

VDI 4620

Wasserkraftanlagen - Technik und Planung

Berufsgenossenschaftliche Regel 237	Hydraulikschläuche im Flusswasser
DIN 45635-40	Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren; Maschinensätze in Wasserkraftanlagen und Wasserpumpenanlagen
DIN 19752	Wasserkraftanlagen - Planung, Vorhabenrealisierung und Betrieb
EEG	Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)
Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	Leitgesetz für den Bereich des Gewässerschutzes
Wassergesetz (WG)	Das Wassergesetz (WG) unterliegt dem Zuständigkeitsbereich der Länder und ergänzt und füllt den durch das WHG vorgegebenen Rahmen aus (Giesecke, Heimerl und Mosonyi 2014)

Aufwand und Kosten

Investitionskosten

Betriebskosten

		€/(kW*a)
min	min	180
max	max	260
üblich	üblich	

Hinweis:

Für die Investitionskosten liegen keine konkreten Zahlenwerte vor. Die Stromgestehungskosten für Wasserkraftwerke mit einer Leistung von 100 kW liegen bei 17,82 Ct/kWh (Keuneke 2015).

Die Betriebskosten von Wasserkraftanlagen setzen sich zusammen aus Kosten für Instandhaltung, Versicherungen, Verwaltung und Pacht sowie Personalkosten. Die Betriebskosten beziehen sich auf Anlagen zwischen 100 - 1 000 kW (Keuneke 2015).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	Beachtung der Schifffahrt und des Fischschutzes
Betreiber	Stadtwerke, Energieversorger, Netzbetreiber, etc.

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz für normale Wasserkraftwerke ist im Vergleich zu fossilem Strom durchaus positiv. Eine Studie des Umweltbundesamtes hat ermittelt, dass die Emissionen pro erzeugter kWh zwischen 13 und 27 g CO₂-äq/kWh liegen, was deutlich unter der momentanen CO₂-Intensität von fossilen Energieträgern liegt. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass die Gewinnung von Wasserkraft

eine negative Auswirkung auf die Frischwasser Biodiversität in Flüssen hat, was bisher mit der Ökobilanz schwierig zu quantifizieren ist. Eine spezifische Auswertung von Kleinstwasserkraftanlagen und deren Emissionsintensität ist durch das Umweltbundesamt nicht erfolgt und könnte die CO₂-Intensität erhöhen.

Literaturstellen

Memmler, M., Lauf, T., Wolf, K., Schneider, S., 2017. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Kombinationsmöglichkeiten

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Grauwasseraufbereitung](#)

[Urinbehandlung und -verwertung](#)

[Anaerobe Schwarzwasserbehandlung](#)

[Unterdruckentwässerung](#)

[MAP-Fällung](#)

[Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

[Smart Grids](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Demand Response](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Umweltfreundliche Stromproduktion	Erheblicher Eingriff in die Umwelt
Staatliche Förderung	Gefährdung von Wasserlebewesen durch die Turbine
Lange Lebensdauer, dadurch trotz der hohen Investitionskosten rentabel	Hohe Investitionskosten
Rohstoff Wasser ist kostenlos, dauerhaft verfügbar	

Grundlastfähigkeit

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Buochs		Schweiz	In Buochs (Schweiz) versorgt ein Wasserkraftschnecke 100 Haushalte mit Strom. Die CO ₂ -Einsparungen liegen bei 162 Tonne pro Jahr (ecocoach 2019).
Bamberg		Deutschland	In Bamberg wurde früher die Wasserkraft für Mühlen genutzt. Im Jahr 1983 wurde an einem Standort ein Unterflurwasserkraftwerk errichtet, das 2014 saniert wurde. Durch das Kraftwerk werden 270 kW Strom pro Stunde gewonnen. Das Quartier mit Studentenwohnheim, Hotel und Restaurant werden direkt durch die Anlage versorgt. Überschüssiger Strom wird ins Netz eingespeist. Im Vergleich zu fossil erzeugter Energie werden 2 500 Tonnen CO ₂ pro Jahr gespart (Joseph-Stiftung 2020).
Greencity Manegg	Zürich	Schweiz	Im Quartier Manegg in Zürich wurde eine alte Spinnerei durch eine Wasserkraftanlage versorgt. Nach Schließung der Fabrik stand das Wasserkraftwerk still. Im Zuge des Projekts wurde die Anlage an den neusten Stand der Technik angepasst. Das Wasserkraftwerk besitzt einen Anteil von fast 50 Prozent an der Stromversorgung des Quartiers (Marazzi 2016).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Smart Grids

KURZINFORMATION

Unter Smart Grids versteht man die kommunikative Vernetzung der Erzeugung, Verteilung, Speicherung und des Verbrauchs innerhalb eines Energiesystems. Eine zentrale Steuerung stimmt die Elemente aufeinander ab und gleicht beispielsweise Leistungsschwankungen durch fluktuierende erneuerbare Energien aus. Die Vernetzung erfolgt durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie dezentral organisierter Energiemanagementsysteme zur Koordination der einzelnen Komponenten (Umweltbundesamt 2013).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Smart Meter von Siemens (Bildquelle: Julia.Roesler).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- Wasser**
 Förderung Verdunstung
 Förderung Grundwasserneubildung
 Förderung Behandlung
 Trinkwassereinsparung

	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input checked="" type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input checked="" type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

<input type="checkbox"/> kein Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential
<input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential	<input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential	

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW	Min: k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:
 Der Flächenbedarf von Smart Grids beschränkt sich auf die notwendige Steuerungstechnologie (Smart-Meter, Steuerungseinheiten, Sensoren). Weiterhin können durch Smart Grids notwendige Netzkapazitäten und daraus resultierender Flächenbedarf verringert werden. Insgesamt kann man somit davon sprechen, dass Smart Grids insgesamt keinen nennenswerten Platzbedarf haben. Smart Grids in ihrer Gesamtheit sind nicht in ihrer Nutzungsdauer beschränkt. Notwendige Komponenten wie Smart-Meter, Sensoren oder Steuerungssoftware müssen entsprechend ihrer individuellen Nutzungsdauer ausgetauscht bzw. modernisiert werden. Smart Grids befinden sich in der Entwicklungsphase. Einzelne Projekte wurden bereits abgeschlossen und mit dem Gesetz zur Digitalisierung in der Energiewende wurde der Grundstein für den weiteren Ausbau gelegt.

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Das konventionelle Elektrizitätsnetz besteht grundsätzlich aus

- Energiequellen (Kraftwerke, Photovoltaik-Anlagen, etc.),
- Energiesenken (Haushalte, Unternehmen),
- Energiespeicher (Elektroautos, heimische Speicher oder große Speicheranlagen) und
- Leitungen zur Übertragung der Energie.

Mit dem steigenden Anteil von Wind- und Photovoltaikanlagen im Elektrizitätsnetz, steigen die Schwankungen der Netzfrequenz. Zur Gewährleistung der Netzfrequenz ist ein Ausbau des Netzes erforderlich. Als Alternative zum Netzausbau kann das Elektrizitätsnetz zu einem Smart Grid erweitert werden. Hierbei wird das Elektrizitätsnetz durch Kommunikations-, Mess-, Steuer-, Regel- und Automatisierungstechnik sowie IT-Komponenten aufgerüstet. „Smart“ bedeutet dabei, dass Netzzustände in Echtzeit erfasst werden und Möglichkeiten zur Steuerung und Regelung der Netze bestehen. Ein Smart Grid führt zu einer besseren Ausnutzung der konventionellen Netzstruktur, wodurch der Ausbaubedarf gedämpft und die Netzstabilität verbessert wird. Weiterhin können Systemzustände besser verstanden werden, wodurch mehr lokal erzeugter Strom im örtlichen Energiesystem aufgenommen werden kann (Bundesnetzagentur 2021).

Damit die Teilnehmer im Stromnetz miteinander kommunizieren können, werden intelligente Messsysteme (Smart Meter) benötigt. Durch die Verknüpfung der einzelnen Komponenten entsteht ein integriertes Daten- und Energienetz. In der Steuerungszentrale werden alle Informationen gebündelt, die für die Steuerung des Netzes nötig sind. Über die Daten erhält der Netzbetreiber Informationen über Energieproduktion und -verbrauch. Dadurch kann ein Angebotsüberschuss oder eine hohe Nachfrage ausgeglichen werden. Speicher können überschüssige Energie speichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben. Beispielsweise können Elektroautos in längeren Standphasen bei Angebotsüberschuss aufgeladen werden. Volatil einspeisende Energieanlagen (z. B. Photovoltaik und Windkraftanlagen) können in einem Smart Grid zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengefasst werden. Dadurch nehmen Schwankungen im Netz ab und die Netzstabilität steigt. Verbraucher können beispielsweise durch zeitvariable Tarife Kosten sparen. Elektrische Geräte werden nachts automatisch angeschaltet, wenn viel Energie verfügbar und der Preis günstig ist. Außerdem können Verbraucher über Apps Geräte lokalisieren, die viel Energie verbrauchen (e.on 2020).

Analog zu Smart Grids in der Stromversorgung existieren Thermal Smart Grids in der Wärmeversorgung. Dabei wird überschüssige Wärme- und Kälteenergie durch Umverteilung zwischen den Netzteilnehmern zu den Verbrauchern mit Wärme- oder Kältebedarf transportiert (Härtel 2018).

Systemskizze

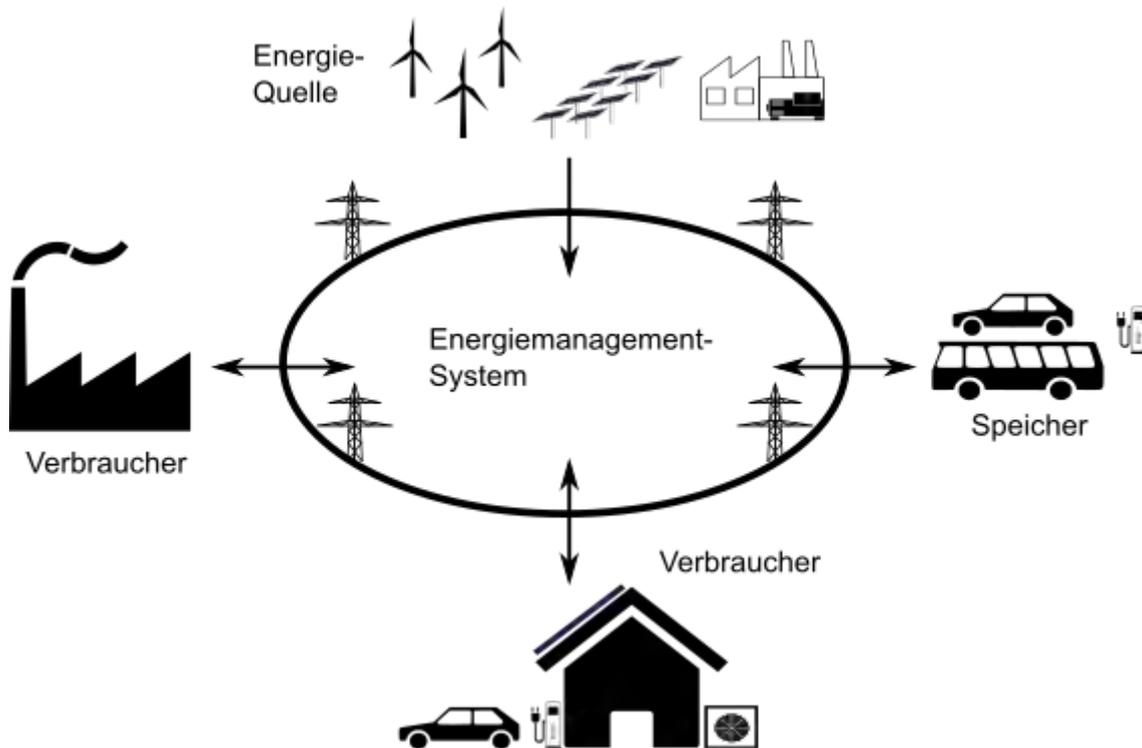


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Smart Grids.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Um das Potential für Smart Grids auszuschöpfen, muss der bestehende Rechtsrahmen erweitert werden. Beispielsweise gibt für Verteilnetzbetreiber die Anreizregulierung den Rahmen vor. Gewinne können nur über die kalkulatorische Eigenkapitalverzinsung erzielt werden. Netzbetreiber profitieren somit von einem großen Anlagevermögen. Die Anreizregulierung motiviert Netzbetreiber zu kapitalintensiven Maßnahmen wie dem Netzausbau zur Vermeidung von Netzengpässen, anstatt in Smart Grids zu investieren (Zoerner, Kassebaum und Schwarzbeck 2020).

*Daten nach (dena 2018)

Norm/Regelwerk	Titel
BSI TR-03109*	Technische Vorgaben für intelligente Messsysteme und deren sicherer Betrieb
DIN EN 50491-12-1 VDE 0849-12-1:2019-02*	Das Deutsche Institut für Normung (DIN) hat hinsichtlich Smart Grids verschiedene Normen veröffentlicht. Beispielsweise zu Anforderungen und Architekturen einer Schnittstelle der Anwendungsschicht zwischen Kundenenergiemanager und den intelligenten Geräten
ISO 17 800*	Die Internationale Organisation für Normung (ISO) hat beispielsweise ein Informationsmodell für den Betriebsbereich Smart Grids veröffentlicht

IEC 61850*	Standards für geeignete Kommunikationsprotokolle
Common Information Model (CIM)*	Datenmodelle
Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)	Im EnWG sind die Teile 2 (Regelung zur Entflechtung) und 3 (Regelung zur Steuerung unterbrechbarer Verbrauchseinrichtungen) für Smart Grids von Bedeutung.
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	Das EEG erhält mit § 6 EEG und § 11 EEG zwei Regelungen zur intelligenten Einflussnahme auf den Netzzustand.
Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende	Ausstattung und Betrieb intelligenter Messsysteme - Nach dem Gesetz müssen alle Messstellen bis zum Jahr 2032 mit Smart Meter ausgestattet werden. Ab einem jährlichen Stromverbrauch von mehr als 10 000 Kilowattstunden ist der Einbau eines intelligenten Messsystems bereits Pflicht. Ab 2020 erweitert sich die Einbaupflicht auf Stromverbraucher mit einem Verbrauch ab 6 000 Kilowattstunden. Bei Installation der intelligenten Stromzähler fallen Kosten für den Verbraucher an. Die Kosten sind je nach Messstellenbetreiber unterschiedlich. Der Verbraucher darf den Messstellenbetreiber frei wählen (BMWl 2020).
Sonstiges	Weiterhin sind z. B. das Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) oder das Eichgesetz (EichG) wichtig (Heinlein 2014).

Aufwand und Kosten

Der Aufbau einer leistungsstarken IT- und Kommunikationsstruktur und die Installation von Smart Meter verursacht Kosten.

Im Projekt ECONGRID der Technischen Universität Graz wurden Smart-Grid-Lösungen einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung unterzogen. Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass der Ausbau von Smart Grids gesamtwirtschaftlich vorteilhafter ist, als ein konventioneller Netzausbau ist (Friedl et al. 2014).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/Smart Meter		€/Smart Meter* a
min	100	min	15
max	400	max	190
üblich		üblich	

Hinweis:

Die Investitions- und Betriebskosten setzen sich aus den drei Aufgabenbereichen Datenerfassung, -verarbeitung und -übertragung des Smart Meters zusammen und beziehen sich auf die Anschaffungskosten (ffe 2016).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	Bevölkerung aufklären hinsichtlich der Datensicherheit
Hersteller	Deutsche Telekom, ABB, Schneider Electric
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> • Smart Meter-Rollout: Ablauf z. B. von der Verbraucherzentrale erklärt (Verbraucherzentrale 2020) • Interoperabilität (IOP) - Prüfung und Zertifizierung im VDE-Institut: Hersteller und Kunden von Geräten können sicher gehen, dass ihre Geräte miteinander problemlos kommunizieren.

Ökobilanzielle Bewertung

Aus Sicht der Ökobilanz haben Smart Grids große Vorteile. Sie ermöglichen es Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien zu speichern und zu verteilen wenn sie gebraucht werden (Gargiulo et al., 2017). Eine genaue Quantifizierung des Reduktionpotentials pro gelieferter kWh steht allerdings noch aus.

Literaturstellen

Gargiulo, A., Girardi, P., Temporelli, A., 2017. LCA of electricity networks: a review. Int. J. Life Cycle Assess. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1279-x>

Kombinationsmöglichkeiten

[Batteriespeicher](#)

[Power-to-Heat](#)

[Wärmepumpen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Power-to-Gas](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Wärmespeicher](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Demand Response](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Senkung der Stromkosten für Verbraucher	Datenschutz
Steigerung der Netzstabilität	Gefahr durch Cyber-Kriminalität
Netzentlastung, Aufwand wird Netzausbau wird reduziert	Interoperabilität der Geräte
Smart Grids ermöglichen die Integration von erneuerbaren Energien, tragen zur Erreichung der Klimaziele bei	Nach der aktuellen Anreizregulierung ist der Netzausbau günstiger als in Smart Grids zu investieren (Zoerner, Kassebaum und Schwarzbeck 2020).

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Smart Operator	Rheinland-Pfalz und Schwabmünchen	Deutschland	Nach dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Smart Operator“ lässt sich der Anteil aus lokal erzeugter, erneuerbarer Energie um 35 Prozent erhöhen. Durch die bessere Nutzung vorhandener Netze kann der Ausbau reduziert werden. In dem Projekt hat ein selbstständig arbeitender Rechner die Ladezeiten von Elektroautos und Batteriespeicher verschoben und elektrische Haushaltsgeräte erst gestartet, wenn viel Sonnenenergie vor Ort umgewandelt wurde (Willing 2020).
Smart-City-Franklin	Mannheim	Deutschland	Die Häuser im Quartier Franklin bekommen Photovoltaikanlagen auf ihren Dächern. Diese stellen Mieterstrom und Strom zum Aufladen von Elektrofahrzeugen zur Verfügung. Stromspeicher sorgen dafür, dass möglichst viel Solarstrom genutzt wird. Die Wärmeversorgung erfolgt über ein Niedertemperaturnetz und Wärmepumpen. Weiterhin sind Power-to-Heat-Anlagen geplant. Ein hochauflösendes Echtzeit-Metering hilft Transparenz über die Energieflüsse für Strom, Wärme und Wasser herzustellen. Verbraucher können mit Hilfe der Smart Meter Geräte mit einem hohen Stromverbrauch identifizieren. Außerdem bekommen sie Kostenwarnungen oder eine Benachrichtigung, wann die elektrischen Maschinen mit grünem Strom betrieben werden können (Kühl 2018).

Quartier Bochum- Weitmar	Deutschland	In dem Quartier wird ein selbstlernendes Energiemanagementsystem erforscht. Es wird dafür sorgen, Energie zur richtigen Zeit am richtigen Ort zur Verfügung zu stellen. Zum Beispiel an Ladestationen für Elektroautos oder als Strom in den Haushalten (Vonovia 2020).
-----------------------------	-------------	---

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Mieterstrommodelle

KURZINFORMATION

Unter Mieterstrom versteht man Strom, der lokal produziert (z.B. eine Photovoltaikanlage auf dem Dach eines Mehrfamilienhauses) und an die angrenzenden Verbraucher (z.B. Mieter, Nachbarn) geliefert wird. Der Strom wird nicht über das öffentliche Stromnetz transportiert. Dadurch entfallen Netzentgelte, netzseitige Umlagen, Stromsteuer und Konzessionsabgaben. So kann den Verbrauchern ein attraktiver Strompreis angeboten werden. Der nicht verbrauchte Strom wird ins Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist und vergütet (BMWi 2020).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Blockheizkraftwerk im Friedensring in Salzwedel. Motivauswahl mit Hilfe der Bewohner des Quartiers (Bildquelle: Avacon). Rechts: Mehrfamilienhäuser mit Photovoltaikanlagen im Projekt „SonnenBurg“. Strom wird über Mieterstrommodelle angeboten (Bildquelle: Stadtwerke Burg).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- Förderung Verdunstung
 Förderung Grundwasserneubildung
 Förderung Behandlung
 Trinkwassereinsparung

	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:
 Für Mieterstrommodelle direkt wird keine Fläche benötigt, allerdings für die Photovoltaikanlagen oder Blockheizkraftwerke. Die Nutzungsdauer von Mieterstrommodellen ist von den Stromerzeugungsanlagen abhängig (vgl. andere Steckbriefe).

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Mieterstrommodelle sind Vermarktungsmodelle für Strom, welcher vor Ort mit Photovoltaikanlagen, BHKWs oder anderen Stromerzeugungsanlage erzeugt und an Hausbewohner (Mieter) verkauft wird. Mieterstrommodelle profitieren von entfallen Netzentgelten, netzentgeltgekoppelten Umlagen und Konzessionsabgaben sowie bestimmten

Steuern. Je nach Netzgebiet fallen diese Vorteile unterschiedlich hoch aus (Bundesnetzagentur 2020).

Je nachdem, wie der mittels Mieterstrom vermarktete Strom produziert wurde bestehen verschieden Fördermöglichkeiten und Rahmenbedingungen. Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz geförderte und durch Mieterstrom vermarktete Photovoltaikanlagen erhalten einen Mieterstromzuschlag. Voraussetzungen für diese Förderung ist, dass der Mieterstromvertrag vom regulären Mietvertrag entkoppelt ist, ein Strompreisdeckel existiert und dass die Mieterstromnutzer für die gesamte Stromversorgung nur einen Stromliefervertrag abschließen müssen. Der Strompreisdeckel regelt, dass der Preis für den Mieterstrom und dem zusätzlichen Strombezug nicht über 90 Prozent des in dem jeweiligen Netzgebiet geltenden Grundversorgungstarifs liegen darf.

Bei der Produktion mit anderen Stromerzeugungsanlagen besteht eine freie Vertragsgestaltung und die Preisgestaltung unterliegt keinem Strompreisdeckel. Abweichend zur Produktion mit Photovoltaikanlagen dürfen hier der Mieterstrom und die Zusatzstromversorgung mit unterschiedlichen Vertragspartnern abgeschlossen werden (Bundesnetzagentur 2020). Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Anlagen in Kombination mit Mieterstrommodellen haben den Vorteil, dass zum einen günstiger Mieterstrom angeboten werden kann und zum anderen kann die Abwärme der Stromerzeugung zur Beheizung des Gebäudes genutzt werden (Behr und Großklos 2017). Für die Umsetzung von Mieterstrommodellen kooperieren oft Unternehmen aus der Immobilienwirtschaft mit Unternehmen aus der Energiewirtschaft. Die Unternehmen aus der Immobilienwirtschaft ermöglichen den Zugang zu den Flächen und Bewohnern und die Unternehmen aus der Energiewirtschaft bringen ihr Know-How für die Planung, Installation, Finanzierung und Betrieb der Anlagen sowie der Stromlieferung ein (VKU 2018).

Systemskizze

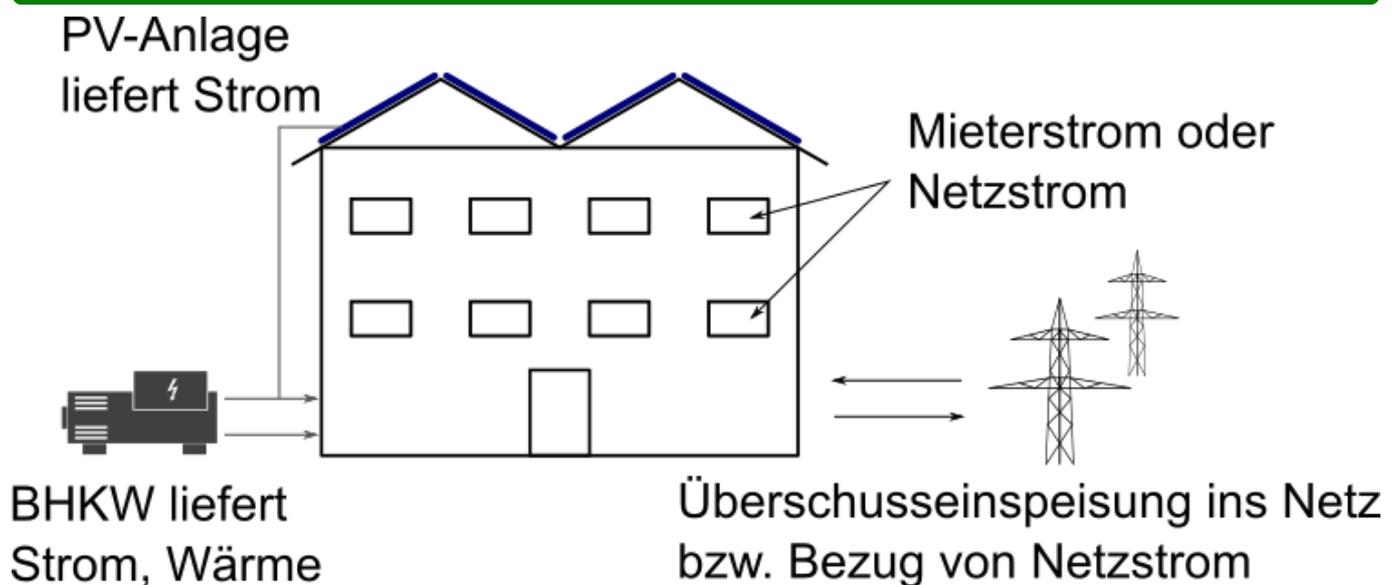


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Mieterstrommodells.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Die wesentlichen Gesetze und Verordnungen für Mieterstrom sind das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG), das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und das Erneuerbare-Energien-Gesetz.

Weitere relevante Vorschriften finden sich in der EU-Richtlinie zur Energieeffizienz, im Stromsteuergesetz sowie im Energiesteuergesetz, in der Niederspannungsanschlussverordnung, im Messstellenbetriebsgesetz, im Bürgerlichen Gesetzbuch, der Energieeinsparverordnung, im Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz sowie im Mieterstromgesetz. Der Mieterstromzuschlag wird wie folgt berechnet:

Mieterstromzuschlag = Einspeisevergütung PV - Anlagen (ct/kWh) - Abschlag (ct/kWh)

Der Abschlag für Anlagen bis 10 kW liegt bei 8,5 ct/kWh. Bei einer Einspeisevergütung von 9,87 ct/kWh (Januar 2020) liegt der Mieterstromzuschlag bei 1,37 ct/kWh.

Norm/Regelwerk	Titel
§ 23b Abs. 2 EEG	Besondere Bestimmung zum Mieterstromzuschlag
§ 42a EnWG	Im EnWG werden Rahmenbedingungen für den Mietvertrag geregelt

Aufwand und Kosten

Als Aufwand und Kosten können die rechtlichen Pflichten des Anlagenbetreibers aufgeführt werden. Mieterstrommodelle können auch über Contracting-Verträge abgewickelt werden. Die administrativen und rechtlichen Aufwendungen entfallen auf das Contracting-Unternehmen. Die Erlöse des Gebäudeeigentümers sinken. Weiterhin entfallen Investitionskosten für die Stromerzeugungsanlage und den Messstellen (vgl. Steckbriefe).

Im Mai liegt der Strompreis bei einem Verbrauch von 3 500 kWh/a bei 31,37 Ct/kWh (BDEW 2017). Nimmt man Stromgestehungskosten in Höhe von 12,50 Ct/kWh an und einen Abschlag für die Abrechnung in Höhe von 3,20 Ct/kWh ergibt sich unter Einbezug aller Abgaben ein Mieterstrompreis von 26,76 Ct/kWh. Die Differenz zwischen beiden Preisen liegt bei 4,61 ct/kWh. Auf Grundlage dieser Marge kann die Wirtschaftlichkeit des Mieterstrommodells berechnet werden (Urbane Energie 2016).

Investitionskosten		Betriebskosten	
	€/WE		€/(Jahr WE)
min	130	min	20
max	300	max	70
üblich		üblich	

Hinweis:

Die Investitionskosten bestehen aus den Kosten für das Messsystem (z. B. Smart Meter) und dem Systempreis. Die Investitionskosten zu den Stromerzeugungsanlage stehen in den zugehörigen Steckbriefen. Wird das Messsystem von einem externen Dienstleister geplant, kann es noch zu einem Aufpreis von 1 000 Euro kommen. Hierdurch entfallen Aufwendung die z. B. durch die Kommunikation mit den Netzbetreiber anfallen würden. Besteht bereits ein Smart Grid beziehungsweise Smart Meter

entfallen diese Kosten (Urbane Energie 2016; Discovery 2018).

20 €/(Jahr Wohneinheit (WE)) fallen für die Abrechnung an, übernimmt ein Dienstleister den Betrieb des Messtellensystem fallen weiter Kosten in Höhe von circa 50 €/(Jahr * WE) an (Urbane Energie 2016; Discovery 2018).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Kombination mit einer KWK-Anlage Pufferspeicher einbauen, damit stromgeführte Betriebsweise effizienter ist • Abrechnung über externen Dienstleister in Betracht ziehen (Contracting) • Vorab mit den Mietern sprechen
Hersteller	Avacon, Polarstern, MeterPan, Discovery (Messkonzepte)
Mieterstrom-Software	<ul style="list-style-type: none"> • Das Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) bietet ein kostenloses Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungsverfahren an: Mieterstromtool • Das Unternehmen Denkzentrale Energie GmbH bietet ebenfalls ein Tool an. Die Kosten liegen bei 750 Euro.

Ökobilanzielle Bewertung

Eine ökobilanzielle Auswertung von Mieterstrommodellen liegt nicht vor. Da diese Modelle meist Photovoltaik-Module beinhalten, oder andere erneuerbare Energieträger, ist die Ökobilanz zumeist besser als die Intensität der momentanen Stromgewinnung durch fossile Energieträger.

Kombinationsmöglichkeiten

[Lokale Energiemärkte](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Demand Response](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Wärmespeicher](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Smart Grids](#)

[Bewässerung](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Gas](#)[Demand Response](#)[Power-to-Heat](#)[Power-to-Mobility](#)[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Förderung nach dem EEG

Entfall von Netzentgelte, Stromsteuer, Konzessionsabgaben und sonstigen netzbezogenen Umlagen

Unabhängigkeit von Stromversorgern

Mieter profitieren von kostengünstigen Mieterstrom

Gebäudemodernisierung durch den Austausch alter Heizungsanlagen durch effiziente KWK-Anlagen oder durch Photovoltaikanlagen

Entlastung des Stromnetzes

Beitrag zur Energiewende durch dezentrale, regenerative Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen oder durch den effizienten Einsatz von KWK-Anlagen

Nachteile

Vielzahl von gesetzlichen Pflichten z. B. EnWG, StromGKV, EEG, MaStRV, StromStG, StromStV

Hoher rechtlicher und administrativer Aufwand

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Esslinger Quartier Lok West	Esslingen	Deutschland	In Esslingen entsteht ein Stadtquartier mit 5 Wohn- und Geschäftsgebäuden mit rund 500 1- bis 6-Zimmer-Wohnungen. Für die Mieterstromversorgung wurde eine 260 kW Photovoltaik-Dachanlage und ein BHKW mit 70 kW elektrischer Leistung errichtet. Das Unternehmen Polarstern ist für die Versorgung der Mieter zuständig. Zur Umsetzung der Mieterstromversorgung wurde das Contracting-Modell gewählt. Der Bauträger investiert in die benötigte Anlagentechnik und das Unternehmen Polarstern übernimmt den Betrieb der Anlagen (Polarstern 2020).

Friedensring	Salzwedel	Deutschland	Den Mietern der Wohnanlage Friedensring wird Mieterstrom aus Blockheizkraftwerken angeboten. Der Mieterstromtarif bleibt stabil während die Tarife der Stromanbieter steigen. 65 Prozent der Mieter haben sich für die Belieferung mit Mieterstrom entschieden (avacon 2020).
SonnenBurg	Burg	Deutschland	Im Projekt „SonnenBurg“ wurden 35 PV-Anlagen auf 12 Mehrfamilienhäusern installiert. 230 Mietparteien werden mit Mieterstrom aus Sonnenenergie versorgt. Messstellen wurden mit Smart Metern ausgestattet, die in Echtzeit den PV-Anteil der Mietparteien messen und verbrauchsabhängig zuordnen (VKU 2018).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Lokale Energiemärkte

KURZINFORMATION

Auf lokalen Energiemärkten können lokal produzierte Elektrizität und Wärme innerhalb eines geografisch begrenzten Gebiets gehandelt werden. Die Grundlage für solche Energiemärkte sind ausreichende Netzkapazitäten zum Energietransport sowie Smart Grid Elemente zur Abrechnung und Bilanzierung der gehandelten Energie (Bundesnetzagentur 2011). Während bereits vereinzelt lokale Strommärkte existieren, ist der Anteil von lokalen Wärmemärkten gering.

Umsetzungsbeispiel

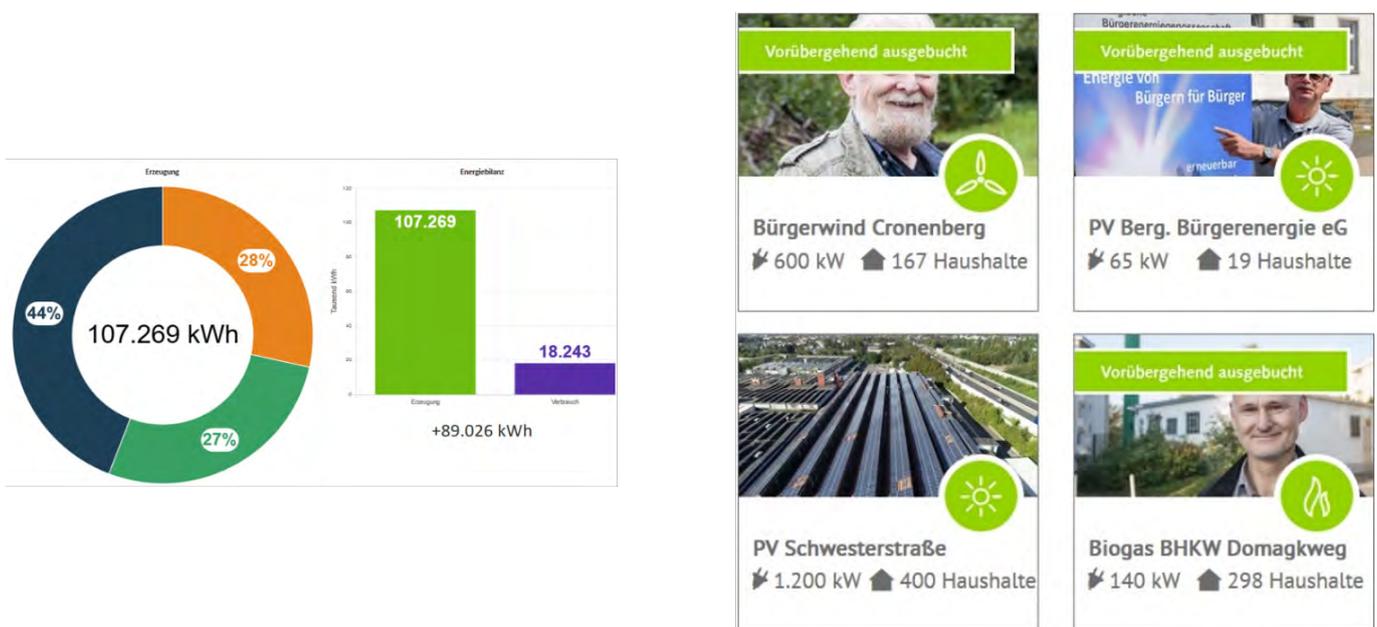


Abb. 1: Links: Projekt Pebbles, Daten des Energiemarkts vom 23.04.2020 - Tortendiagramm zeigt die Stromerzeugung (blau: Wind, orange: Photovoltaik, grün: Biogas), Balkendiagramm zeigt die Energiebilanz (grün: Erzeugung, blau: Verbrauch) (Bildquelle: Pebbles). Rechts: Anbieter des Projekts Tal.Markt (Bildquelle: WSW Energie und Wasser).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe

- | | |
|-------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |
|-------------------------------------|---|

	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max: k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: k.A.	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf ist abhängig von der vorhandenen Netzinfrastruktur und kann an dieser Stelle nicht genau bestimmt werden. Es existieren bereits einige lokale Energiemärkte, die Nutzungsdauer kann allerdings noch nicht bestimmt werden.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Auf lokalen Energiemärkten können Betreiber von dezentralen Energieanlagen – unter Berücksichtigung einer Lastprognose über die zur Verfügung stehende Energiemenge – Elektrizität und Wärme anbieten. Verbraucher können über eine Handelsplattform diese Angebote annehmen und Kaufverträge abschließen. In der Regel werden die Energiemengen alle 15 Minuten auf dem Markt getaktet. Damit Verbraucher nicht dauerhaft auf dem Markt aktiv sein müssen, können sie auch Präferenzen festlegen, zu welchen Konditionen Energie bezogen werden soll. Wird keine der genannten Präferenzen erfüllt, versorgt der Bilanzkreisverantwortliche den Endverbraucher mit Energie. Außerdem nimmt er überflüssige

Energie ab (Hermann und Palm 2020). Ein lokaler Energiemarkt ermöglicht beispielsweise, dass ein großer Anteil des produzierten Stroms vor Ort verbraucht wird. Das örtliche Stromnetz ist allerdings nur für bestimmte Kapazitäten ausgelegt, wodurch das Angebot auf dem Markt begrenzt wird. Der Netzbetreiber muss bei nicht ausreichender Kapazität eingreifen, um die Nachfrage zu befriedigen und die Netzstabilität zu gewähren (Bundesnetzagentur 2011).

Die Ausgestaltung eines lokalen Energiemarkts kann durch verschiedene Konzepte erfolgen, beispielsweise über das sogenannte Peer-to-Peer-Konzept. In einem Peer-to-Peer Markt dient eine Online-Plattform nur für die Abwicklung der Geschäfte. Der Energiehandel findet direkt zwischen den Teilnehmern statt ohne intermediäre Instanz. Andere Konzepte sind beispielsweise ein auktionsbasierter Ansatz, Preis-Mengen-Iteration oder eine zentrale Steuerung (Zoerner, Kassebaum und Schwarzbeck 2020). Zur Abwicklung von beispielsweise Peer-to-Peer-Geschäften ist die sogenannte Blockchain-Technologie geeignet. Die Technologie bringt viele Vorteile wie Datensicherheit, eine schnellere Prozessabwicklung oder verringerte Transaktionskosten mit sich. Der Bezahlprozess wird über sogenannte Smart Contracts abgewickelt. Im Projekt pebbles wird Energie über Auktionen gehandelt. Aus den Auktionsergebnissen werden automatisiert Transaktionen zwischen den Marktteilnehmern ermittelt und Lieferverträge geschlossen. Die räumliche Nähe der so entstehenden Lieferverträge ermöglicht nach dem Stromsteuergesetz (StromStG) auf dem lokalen Energiemarkt Netzentgelte und Stromsteuern einzusparen (Zoerner, Kassebaum und Schwarzbeck 2020).

Die im Rahmen des Erneuerbare Energie Gesetzes (EEG) für 20 Jahren gewährte Einspeisevergütung läuft im Jahr 2021 für die ersten Erzeugungsanlagen aus. Ein lokaler Energiemarkt könnte den Rückbau der Anlagen vermeiden, indem der lokal erzeugte Strom über lokale Energiemärkte verkauft wird (Zoerner, Kassebaum und Schwarzbeck 2020).

Systemskizze

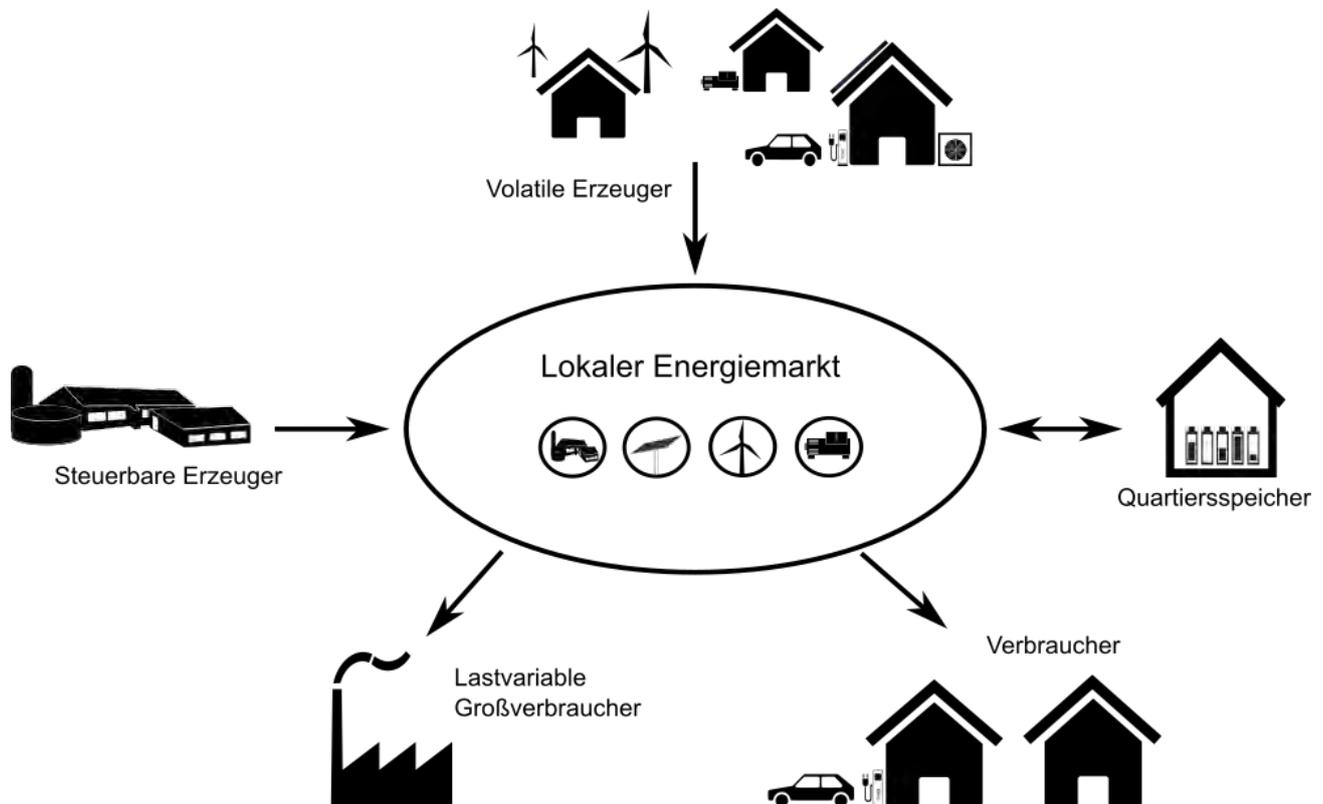


Abb. 2: Schematische Darstellung eines lokalen Energiemarkts.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Grundlage für einen lokalen Energiemarkt ist ein Smart Grid (siehe Steckbrief „Smart Grid“). Die Technologie hinter einem Energiemarkt kann auf einer Blockchain basieren. Einheitliche Regelwerke beziehungsweise Normen fehlen noch (Burger, Kuhlmann, Richard, Weinmann 2016).

Für den Betrieb von lokalen Energiemärkten gibt es keinen eindeutigen Rechtsrahmen. Das Bundeskabinett hat jedoch am 18.09.2019 eine Blockchain-Strategie verabschiedet. Nach der Strategie plant das Kabinett Investitionen rund um die Blockchain-Technologie zu ermöglichen und klare, verlässliche Rahmenbedingungen zu stellen. Beispielsweise fördert die Bundesregierung praxisorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft (BMWi 2019).

Gemäß Stromsteuergesetz kann Akteuren, welche in einem direkten räumlichen Zusammenhang stehen, d.h. in einem Radius von 4,5 km, die Stromsteuer erlassen werden. Weiterhin kann das zu entrichtende Netzentgelt reduziert werden, falls Verträge geschlossen werden, die eine Abspaltung der Erzeugung oder von Verbraucheranlagen ermöglichen (§ 14a Energiewirtschaftsgesetz) (Zoerner, Kassebaum und Schwarzbeck 2020).

Rechtliche Herausforderungen ergeben sich beispielsweise im Hinblick auf das Vertragsrecht (z. B. Energielieferverträge). Die Blockchain-Technologie speichert alle Prozesse ab und es besteht keine Möglichkeit Daten zu löschen. Nach dem Zivilrecht müssen allerdings Möglichkeiten bestehen, um sich von Verträgen lösen zu können. Außerdem muss geklärt werden, wie die Haftungsbedingungen

bei Lieferverzug durch Systemfehler sind. Für Prosumer (producer and consumer) entstehen rechtliche Pflichten, da diese als Energieversorger auftreten. Weiterhin müssen Pflichten in Bezug auf die IT-Sicherheit und dem Datenschutz gewährleistet werden (Schneider 2018).

Aufwand und Kosten

Die Voraussetzung für lokale Energiemärkte ist eine vorhandene Infrastruktur. Je nach Bestandsnetz variieren die Aufwendungen und Kosten. Existiert beispielsweise eine Smart Grid fallen weniger Kosten für die Netzstruktur an. Die Kosten beschränken sich dann auf Aufgaben wie die Abwicklung des energiewirtschaftlichen Handels, die Abrechnung und das Bereitstellen von elektrischer Energie bei Ausfall (ErneuerbareEnergien 2017). Weiterhin müssen die Teilnehmer eines lokalen Energiemarkts mit Energiemanagementsystemen ausgestattet werden (Zoerner, Kassebaum und Schwarzbeck 2020).

Die Blockchain-Technologie verursacht einen Teil der Betriebskosten. Beispielsweise lag im Projekt „Quartiersstrom“ der Stromverbrauch der „Blockchain-Computer“ bei 4 Prozent der Gesamtmenge des gehandelten Stroms (Schopfer und Dürr 2019).

Sobald Strom über das öffentliche Stromnetz transportiert wird, fallen Kosten in Form von Konzessionsabgaben und Netzentgelt an. Weiterhin muss die EEG-Umlage beim Bezug von Strom entrichtet werden. In der Stadt Herne belaufen sich die Kosten auf 14,38 ct/kWh (Klemm und Vennemann 2021).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazitätsampeln, damit der Netzbetreiber sieht, wann koordinierend eingegriffen werden muss (Bundesnetzagentur 2011) • Intelligente Messsysteme müssen vorhanden sein
Hersteller	<ul style="list-style-type: none"> • Die Energy Web Foundation stellt Infrastruktur (Software) für den Übergang zu einem dezentralen und digitalen Energiesystem bereit (Wiemann 2020) • LO3 Energy und Siemens fokussieren sich auf lokale Stromnetze (Microgrids)
Blockchain	Weiter Anwendungsmöglichkeiten in Kombination mit der Blockchain-Technologie sind z. B. Fakturierung von Geschäftsprozessen (Billing), Verwaltung von Lieferverträgen, Dezentrale Abrechnungsprozesse bei Ladesäulen für Elektrofahrzeuge (vgl. Projekt BlockCharge von innogy) (Doleski 2020).

Ökobilanzielle Bewertung

Lokale Energiemärkte sollen die Nachfrage vor Ort decken und somit den Verzicht auf fossile

Energieträger weitgehend ermöglichen. Durch optimierte Energienutzung kann die Nachfrage nach fossilen Energieträgern gesenkt werden, was sich positiv auf die Ökobilanz auswirken würde. Die ökobilanzielle Quantifizierung von diesen Effekten anhand von Fallbeispielen stehen noch aus.

Kombinationsmöglichkeiten

[Geothermieranlagen](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Smart Grids](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Wärmenetze](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Bewässerung](#)

[Demand Response](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Befreiung von der Stromsteuer und Reduzierung der Netzentgelte

Höhere Prognosegenauigkeit durch den Informationsaustausch, effiziente Bilanzkreisbewirtschaftung, erhöhte Systemstabilität

Bereitstellung von Flexibilität, Bezug von Ausgleichsenergie wird verringert

Vor Ort produzierter Strom wird auch vor Ort verbraucht

Keine vermittelnden Instanzen wie z. B. Banken, daher schnelle Transaktionen

Nachteile

Investitionskosten für die Infrastruktur

Nach der aktuellen Anreizregulierung ist der Netzausbau wirtschaftlich attraktiver als in intelligente Netze zu investieren

Erneuerbare Energie Anlagen können nach Ablauf der EEG-Förderung ihren Strom vermarkten

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Quartiersstrom	Walenstadt	Schweiz	In dem Schweizer Quartier wurde über das Jahr 2019 ein Feldversuch durchgeführt. Durch einen lokalen Strommarkt stieg der Eigenverbrauch der Gemeinschaft auf 60 Prozent an. Der Eigenverbrauch hat sich gegenüber dem Vorjahr verdoppelt. Da der produzierte Strom vor Ort verbraucht wird, fallen für die Verbraucher niedrigere Netzkosten an, als wenn Strom von zentralen Kraftwerken bezogen wird. Die Stromkosten sinken und sind niedriger als bei einem konventionellen Stromversorger (Schopfer und Dürr 2019).
Pebbles	Wilpoldsried	Deutschland	Das Projekt Pebbles analysiert und testet die Blockchain-Technologie auf dem Energiemarkt. Ziel ist der Aufbau einer sicheren, lokalen Stromhandelsplattform auf Basis der Blockchain-Technologie. Das Projekt wird von der Bundesregierung gefördert (Pebbles 2020).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Wärmenetze

KURZINFORMATION

Wärmenetze sind leitungsgebundene Einrichtungen zum Transport von Wärme. Sie stellen eine Verbindung zwischen Wärmequellen (z. B. Blockheizkraftwerke) und Wärmesenken (z.B. häusliche Wärmeverbraucher) dar.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Fernwärmeleitung aus Kunststoffmantelverbundrohren in der Bauphase (Bildquelle: Björn Appel). Rechts: Oberirdische Leitung über B36 in Mannheim (Bildquelle: Frank-m).

Ressource

Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input type="checkbox"/> Elektrizität	<input checked="" type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Gebäude | <input type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: 40	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,5 - 3 m ² /Rohrlänge	Max: 80	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 60	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf variiert je nach Durchmesser der Leitungen. Falls andere Leitungen (Gas, Strom) verlegt sind, müssen Mindestabstände eingehalten werden. Die Leitungen werden überwiegend erdverlegt, der Flächenaufwand ist relativ gering (Fraunhofer UMSICHT 2020, Energie Zentralschweiz 2017). Der Flächenbedarf von Hausübergabestation liegt zwischen 0,002 - 0,012 m²/kW (PEWO 2020). Die Hausübergabestation kann z.B. in einem Kellerraum platziert werden. In Deutschland wurden im Jahr 2016 13,7 % der beheizten Wohnungen mit Fernwärme versorgt. Das entspricht circa 5,7 Millionen Wohnungen (BDEW 2017).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Wärmenetze bestehen aus Rohrleitungsnetzen, welche Wärmeerzeuger mit Wärmeverbraucher verbinden. So können einzelne Gebäude bis hin zu ganzen Stadtbezirken mithilfe zentraler Wärmeerzeugungsanlagen mit Wärme versorgt werden. Die Wärmeabnehmer nutzen die Wärme

zur Raumbeheizung, Trinkwassererwärmung oder als Prozesswärme (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020). Wärmenetze können in Nah- und Fernwärmenetze unterschieden werden. Nahwärmenetze beziehen sich dabei auf kleinere räumliche Gebiete und arbeiten in der Regel mit geringeren Temperaturniveaus als Fernwärmenetze. Wärmenetze werden häufig von einer Kombination unterschiedlicher Wärmequellen gespeist. In Verbindung mit einem Wärmespeicher, leisten Wärmenetze einen Beitrag zur Integration erneuerbarer Energien sowie zur Flexibilisierung der Wärmeversorgung.

Für den Betrieb eines Wärmenetzes werden folgende Komponenten benötigt:

- Wärmequelle
- Rohrleitungen
- Pumpstationen
- Hausübergabestationen

Mithilfe eines Wärmeträgermedium (i.d.R. Wasser) wird die thermische Energie über die Vorlaufleitungen vom Erzeuger zum Verbraucher transportiert. Das Wärmeträgermedium wird dort abgekühlt und fließt anschließend über die Rücklaufleitung zurück zum Erzeuger. Die Vorlauftemperaturen liegen dabei zwischen 70 - 130 °C, die Rücklauftemperaturen zwischen 30 - 70 °C (Konstantin 2018). In seltenen Fällen kommt auch Wasserdampf als Wärmeträgermedium zum Einsatz, was höhere Vorlauftemperaturen ermöglicht. In diesem Fall wird das Wärmeträgermedium am Verbraucher kondensiert, sodass die Vorlaufleitung eine Dampfleitung (gasförmiges Transportmedium) und die Rücklaufleitung eine Kondensatleitung (flüssiges Transportmedium) ist. Abhängig von der Netzgröße können Wärmenetze als Strahl-, Ring- oder Maschennetz ausgeführt werden (Hagedorn 2019).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

In der Quartiersplanung gibt es zwei Ansätze für die Integration von Wärmenetzen. Zum einen Wärmeversorgung unter Einbindung von erneuerbaren Energien und zum anderen unter Einbindung von Abwärme.

Wärmenetze unter Einbindung von erneuerbaren Energien und hocheffizienten Anlagen:

In Wärmenetze können beispielsweise

- Großwärmepumpen,
- Solarthermieanlagen,
- Geothermieanlagen oder
- Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen

eingebunden werden. Welche Wärmequelle eingesetzt werden können hängt von der Siedlungsstruktur und den lokalen Gegebenheiten ab (siehe Steckbriefe zu den entsprechenden Technologien).

Wärmenetz unter Einbindung von Abwärme:

Abwärme aus Industrie und Gewerbe bleibt oft ungenutzt. Dieses ungenutzte Potenzial liegt häufig in Form von heißen Abgasen oder Flüssigkeiten vor. Abhängig vom Temperaturniveau

kann die Wärme direkt über einen Wärmetauscher oder über eine zwischengeschaltete Wärmepumpe nutzbar gemacht und mithilfe von Fernwärmenetzen verteilt werden. Die Integration von Abwärme erfordert niedrige Investitionskosten insbesondere in bestehende Wärmenetze.

Systemskizze

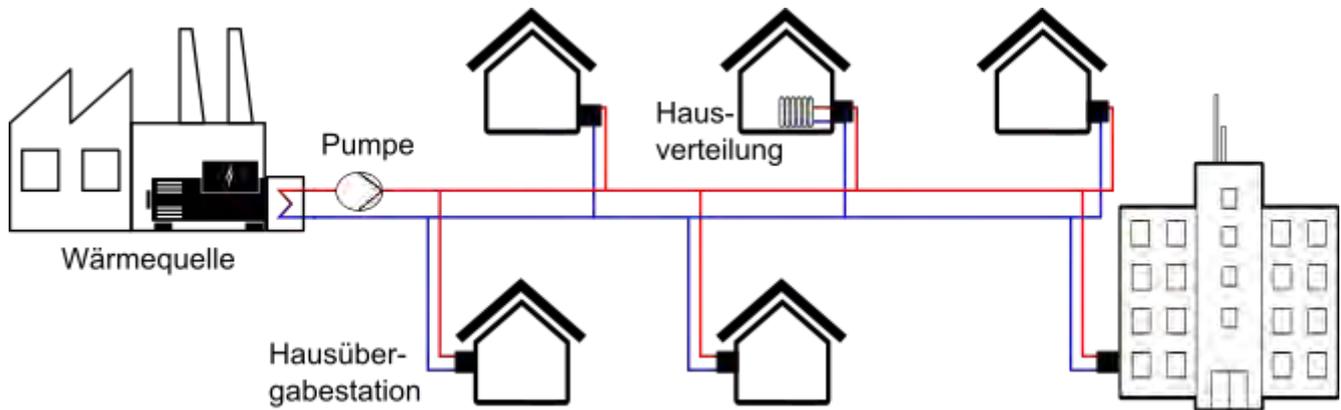


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Wärmenetzes.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Technische Richtlinien zum Anschluss an Wärmenetze stellt zum Beispiel das Unternehmen e.on zur Verfügung. Verschiedene Bundesländer stellen Leitfäden zur Verfügung. Die Energieagentur Rheinland-Pfalz hat beispielsweise den Leitfaden „Praxisleitfaden Nahwärme“ veröffentlicht.

Rechtliche Aspekte/Förderung:

Auf Bundesebene fördert das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) effiziente Wärmenetze mit dem Programm: Wärmenetzsysteme 4.0. In dem Programm werden sowohl vorbereitende Machbarkeitsstudien (Zuschuss bis 60 %) wie auch die Realisierung eines Wärmenetzes (Zuschuss bis 50 %) gefördert. Weiterhin gewährt die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zinsgünstige Kredite, beispielsweise durch das Programm Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung. Durch das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) werden die Netze mit bis zu 100 € je laufender Meter der neu verlegten Leitung gefördert. Auf Länderebene gewähren die Landesförderinstitute Kredite. Weiterhin gibt es länderspezifische Förderprogramme, z. B. Markteinführung-Programme für Wärme- und Kältenetze.

Norm/Regelwerk	Titel
Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 5	Energetische Bewertung von Fernwärme, Erfüllung der Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG)
VDI 2036	Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) veröffentlicht mit der Richtlinie einen Planungs- und Auslegungsleitfaden für Hausanlagen, die über ein Fernwärmenetz versorgt werden.

Aufwand und Kosten

Investitionskosten

	€/m
min	300
max	400
üblich	

Betriebskosten

	€/m*a
min	30
max	40
üblich	

Hinweis:

Die Investitionskosten setzen sich beispielsweise aus den Tiefbaukosten, den Kosten für den Rohrleitungsbau und den Netztechnikkosten zusammen (Clausen 2012, dena 2019, IINAS 2015). Die Kosten für den Hausanschluss eines Verbrauchers liegen zwischen 4 000 und 5 000 Euro.

Die Betriebskosten fallen vor allem durch die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen an und liegen bei circa 10,5 % (IÖW 2018).

Weitergehende Hinweise

*Daten stammen aus der Gemis-Datenbank.

Parameter	Wert
Do's	Nach (Landkreis Osnabrück 2020): <ul style="list-style-type: none"> • Potenzielle Investoren bzw. Besitzer der Wohngebäude rechtzeitig informieren • Flächenverfügbarkeit für erneuerbare Wärmeerzeuger prüfen und absichern, Nähe zu dem Wärmenetz • Schlüsselkunden ansprechen und Wärmeverbrauch abschätzen, Vorhaben wirtschaftlich bei hoher Anschlusszahl, Wärmepreis sinkt • Förderfähigkeit prüfen • Genehmigungen einholen
Hersteller	Energieversorger
*CO ₂ -Äquivalent	23,36 g/kWh
*Kum. Energieverbrauch	0,2 kWh/kWh
*Prozesskosten	0,04 €/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Es gibt noch keine ganzheitlichen Fallstudien über die Ökobilanz von Wärmenetzen. Allerdings können über Wärmenetze der 4. Generation zurückgewonnene Wärme und Wärme aus erneuerbaren Energiequellen genutzt werden, was die Treibhausgasemissionen senken kann.

Kombinationsmöglichkeiten

[Power-to-Heat](#)
[Wärmespeicher](#)
[Blockheizkraftwerke](#)
[Biomasseheizwerke](#)
[Wärmepumpen](#)
[Solarthermieranlagen](#)
[Geothermieranlagen](#)
[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)
[Lokale Energiemärkte](#)
[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)
[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)
[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)
[Bewässerung](#)
[Demand Response](#)
[Power-to-Gas](#)
[Power-to-Gas](#)
[Power-to-Heat](#)
[Power-to-Mobility](#)
[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Nutzung von ungenutzter Abwärme z. B. aus Industrieunternehmen

Verlegung kann mit Straßensanierung kombiniert werden, sodass Kosten gespart werden können

Wärmenetze können mit erneuerbaren Energien (Solarthermie, Geothermie) kombiniert werden, klimaschonend (Urbansky 2016)

Nachteile

Wärmeverluste von circa 30 W/m durch die Übertragung (Urbansky 2016)

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Himmel und Erde	Berlin	Deutschland	Im Projekt „Himmel und Erde“ in Berlin wird durch Kombination unterschiedlicher Anlagen der Wärmebedarf von 70 Wohnungseinheiten gedeckt. Eine Wärmepumpe (100 kW) und 20 Sole-Wasser-Erdwärmesonden werden mit einem erdgasbetriebenen BHKW und 350 m ² Solarabsorber kombiniert. Die Wärme aus den Sonden wird für Fußbodenheizungen genutzt, das Blockheizkraftwerk (BHKW) speist einen Hochtemperaturwärmespeicher zur Trinkwassererwärmung. Der benötigte Strom für die Wärmepumpe stammt ebenfalls aus dem BHKW. Die Solarabsorber dienen zur Regeneration der Geothermie. Die Wärmekosten liegen bei 5 ct/kWh und es werden bis 20 % CO ₂ gegenüber dem vorherigen Heizsystem eingespart (dena 2019).
HafenCity Ost	Hamburg	Deutschland	In der Hamburger HafenCity Ost entsteht ein gemeinsames Projekt zwischen Energieversorger und Kupferproduzent. Die Abwärme des Industrieunternehmens wird für die Wärmeerzeugung eines Wohngebiets genutzt. Wärme unter 100 °C kann das Unternehmen nicht nutzen. Über eine 3,7 km lange Fernwärmeleitung soll ein Wohnquartier mit 8 000 Haushalten versorgt werden. Bis zu 4 500 Tonnen CO ₂ pro Jahr können eingespart werden. Insgesamt werden rund 160 MWh thermisch pro Jahr ausgekoppelt (dena 2019).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Anergienetze (auch: kalte Nahwärme)

KURZINFORMATION

Anergienetze sind Wärme- und/oder Kältenetze zum Austausch thermischer Energie. Im Vergleich zu konventionellen Wärmenetzen werden sie auf geringem Temperaturniveau, zwischen 8 und 20 °C betrieben. Um die thermische Energie eines Anergienetzes für Heizzwecke nutzbar zu machen, kommen Wärmepumpen zum Einsatz. Für Kühlzwecke kann das Anergienetz direkt oder ebenfalls mit Hilfe von Wärmepumpen genutzt werden (Sulzer und Hangartner 2014).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Verlegung eines Anergienetzes in Biberach (Bildquelle: BauGrund Süd).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input checked="" type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Klimaschutz

Legende:

kein Wirkpotential

Wirkpotential vorhanden

geringes Wirkpotential

mittleres Wirkpotential

hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

Gebäude

Grundstück

Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m²/EW

Min:

k.A.

Stand der Wissenschaft und Technik

1 - 3 m²/(m
Rohrlänge)

Max:

k.A.

Stand der Technik

Üblich:

50

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Die Leitungen sind unterirdisch verlegt (vgl. Steckbrief Wärmenetz). Der genaue Flächenbedarf ist abhängig vom eingesetzten Rohrdurchmesser. Die Nutzungsdauer bezieht sich auf die Nutzungsdauer der Rohrleitungen.

Die Leitungen sind unterirdisch verlegt, die Wärmepumpen benötigen nur geringen Platz. Aufwand verursachen die Gebäudeanbindung und die Verlegung der Leitungen. Der Flächenbedarf und finanzielle Aufwand der Energiequelle variieren nach Art der Quelle.

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Sollen vermehrt lokale erneuerbare Energien genutzt werden, ist es sinnvoll geografisch gebundene Energiequellen in das Energiesystem einzubinden. Solche Energiequellen können oftmals nur Energieströme auf niedrigen Temperaturniveaus, teilweise unter 20 °C, bereitstellen. Anergienetze sind Wärme- und Kältenetze, welche solche thermische Energieströme nahe der Umgebungstemperatur zwischen Quellen und Verbrauchern transportieren können (Sulzer und Menti 2015). Aufgrund der niedrigen Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgermedium und Umgebung sind die Wärmeverluste über die Rohrleitung gering. Eine Dämmung des Rohrleitungssystems ist nicht erforderlich.

Abhängig vom Energiefluss wird zwischen bidirektionalen und unidirektionalen Wärmenetzen unterschieden. In bidirektionalen Anergienetzen wird Wärme von den einzelnen Gebäuden sowohl vom Netz entzogen als auch in das Netz eingespeist (Sulzer und Menti 2015). Bei unidirektionalen Netzen sind hingegen an das Netz angeschlossene Gebäude und Komponenten entweder nur Quelle oder nur Verbraucher, sodass sich eine gleichbleibende Energieflussrichtung ergibt.

Im Idealfall ist die Ein- und Ausspeisung, sowohl bei bidirektionalen als auch bei unidirektionalen

Anergienetzen, ausgeglichen. Wenn nicht, müssen Defizite und Überschüsse durch zusätzliche Wärmezufuhr bzw. Wärmeentzug ausgeglichen werden. Alternativ können Differenzen durch den Einsatz thermischer Speicher (z. B. Erdwärmespeicher) ausgeglichen werden (Sulzer und Menti 2015). So kann beispielsweise im Sommer durch Kühlprozesse entstehende Abwärme eingespeichert und im Winter zum Heizen genutzt werden. Für die Wärmezufuhr kommen beispielsweise folgende Wärmequellen in Frage:

- Geothermie,
- Solarthermie,
- Grundwasser,
- Abwärme von Industrieunternehmen,
- Abwasser oder
- Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK-Anlagen).

Unterschiedliche Wärmequellen können im Netz kombiniert oder einzeln genutzt werden. Wärmepumpen heben die bereitgestellte Energie auf das individuell gewünschte Temperaturniveau. Im Sommer kann das System zum Kühlen von Gebäuden eingesetzt werden (Giel 2017).

In der technischen Ausführung können Anergienetze zwischen Zweileiter und Mehrleiternetzen unterschieden werden. In Drei-Leiter-System können so beispielsweise zwei verschiedene Vorlauftemperaturen zur Verfügung gestellt werden. Abnehmer wie Fußbodenheizungen können die höhere Temperatur (z. B. 35°C) direkt über einen Wärmetauscher nutzen. Eine Wärmepumpe ist nicht erforderlich (Sulzer und Hangartner 2014).

Systemskizze

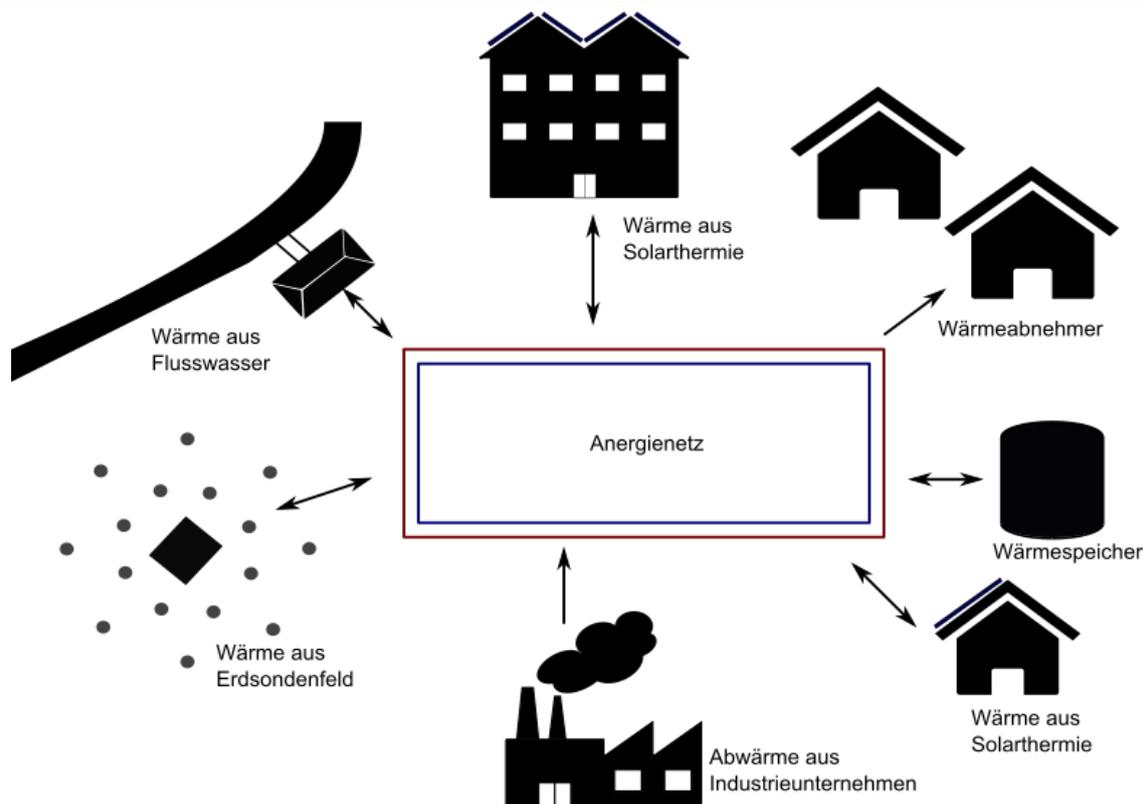


Abb. 2: Darstellung notwendiger Komponenten eines Anergienetzes.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) stellt verschiedene Richtlinien für die Planung/Bemessung zur Verfügung.

Norm/Regelwerk	Titel
Fraunhofer UMSICHT	Das Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Fraunhofer UMSICHT) stellt einen Leitfaden für kalte Nahwärme zur Verfügung, sodass Varianten der Nahwärmeversorgung beurteilt werden können.
Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 1	ABFW - Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V stellt Arbeitsblätter zur energetischen Bewertung von Fernwärme zur Verfügung, die teils auch für die Planung von Anergienetze herangezogen werden können.
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Auf Bundesebene fördert das BAFA Anergienetze mit dem Programm Wärmenetzsysteme 4.0. Machbarkeitsstudien werden mit bis zu 60 Prozent bezuschusst. Die Realisierung eines Wärmesystems mit bis zu 50 Prozent der förderfähigen Ausgaben im Investitionsvorhaben.
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	Die KfW stellt Fördermittel zur Verfügung, beispielsweise für einen Erstanschluss an ein Wärmenetz.

Aufwand und Kosten

Die Investitionskosten für Anergienetz sind vergleichbar zu denen herkömmlicher Wärmenetze. Zwar werden die Kosten für die Isolierung der Rohre gespart, jedoch sind aufgrund der niedrigen Temperaturen höhere Volumenströme notwendig und somit größere Rohrdurchmesser erforderlich. Die Kosten für Anschaffung und Betrieb der Wärmepumpen werden in der Regel vom Wärmekonsumenten getragen (C.A.R.M.E.N. e.V. 2019). Die Kosten sind abhängig von Art der Wärmequelle.

Die Leitungen sind unterirdisch verlegt, die Wärmepumpen benötigen nur geringen Platz. Die Gebäudeanbindung und die Verlegung der Leitungen verursachen den größten Arbeitsaufwand. Der Flächenbedarf und finanzielle Aufwand der Energiequelle variieren nach Art der Quelle.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m		€/(m*a)
min	150	min	15
max	500	max	50
üblich		üblich	

Hinweis:

Die Investitionskosten setzen sich beispielsweise aus den Tiefbaukosten, den Kosten für den

Rohrleitungsbau und den Netztechnikkosten zusammen (Dunkelberg et al. 2018, Pehnt 2017). Für Verbraucher sind die Investitionskosten abhängig von der Wärmepumpe. Die Kosten liegen zwischen 1 300 – 2 300 €/kW. Hinzu kommen noch Anschlusskosten in Höhe von etwa 65 €/m (Schleswiger SW 2019).

Anergienetze haben keine Wärmeverluste, jedoch fließen höhere Volumenströme als bei konventionellen Netzen durch die Leitungen. Beide Faktoren gleichen sich in etwa aus. Aus diesem Grund können die Betriebskosten, wie bei Wärmenetzen, auf jährlich 10,5 % der Investitionskosten beziffert werden (Dunkelberg et al. 2018).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Hersteller	<ul style="list-style-type: none"> • Waterkotte GmbH (Herne) • Naturstrom AG (Düsseldorf)

Ressourcenübergreifende Aspekte

Synergien	Zielkonflikte
Fläche	Unterirdisch, wenig Flächenbedarf

Ökobilanzielle Bewertung

Für die Einrichtung eines Anergienetzes sind keine Fallstudien verfügbar, da das Netz allerdings Wärmquellen von fossilen Energieträgern ersetzen soll, ist von einer positiven Bilanz gegenüber Fernwärme basierend auf fossiler Energie auszugehen.

Kombinationsmöglichkeiten

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Wärmepumpen](#)

[Solarthermieanlagen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Power-to-Heat](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Wärmespeicher](#)

[Wärmenetze](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Geringere Leitungsverluste, aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus des Mediums	Hohe Investitionskosten für Wärmepumpe und Anschluss an das Anergienetz

Leitungen müssen nicht isoliert sein, geringere Kosten für die Leitungen	Große Volumenströme aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen
CO ₂ -Einsparungen	Strombedarf der Wärmepumpe
Hohe Jahresarbeitszahl	
Förderung	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
	Nümbrecht	Deutschland	In Nümbrecht ist ein kaltes Nahwärmenetz entstanden, das im Gegensatz zu Erdgas-Brennwert-Heizungen 40 000 kg CO ₂ im Jahr spart. Als Wärmequellen dienen oberflächennahe Geothermie, eine solarthermische Anlage sowie eine Regenwasser-Zisterne. Die Wärme wird über das Netz zu den Verbrauchern transportiert. In den Gebäuden heben dezentrale Wärmepumpen das Temperaturniveau an, damit die Wärme für Heizzwecke zur Verfügung steht (Energieagentur NRW 2017).
Suurstoffi-Areal	Rotkreuz	Schweiz	Das Suurstoffi-Areal setzt auf CO ₂ -Neutralität. Das Suurstoffi-Areal ist über ein Anergienetz thermisch vernetzt. Das Anergienetz versorgt die einzelnen Gebäudezentralen mit Wärme, um deren Wärmepumpen zu betreiben. Überschüssige Wärme aus Raum- und Prozesskühlung und Hybride Photovoltaik-Module speisen das Anergienetz. Überschüssige Wärme wird in Erdwärmespeichern gespeichert und kann bei einem Wärmedefizit zurückgeholt werden (Suurstoffi 2020; Sulzer und Menti 2015).
Stadtgärten am Henninger Turm	Frankfurt	Deutschland	Im Quartier „Stadtgärten am Henninger Turm“ wird eine Wärmepumpe durch Wärme aus Solarthermie- und Geothermie-Anlagen versorgt. Die Wärmepumpe (600 kW) hebt das Temperaturniveau an und speist die Wärme in einen Warmwasserspeicher. Außerdem speisen ein Blockheizkraftwerk und ein Gaskessel in den Speicher ein. An den Speicher sind ein Niedertemperaturnetz und ein Hochtemperaturnetz angeschlossen. Das Niedertemperaturnetz dient im Winter für Heizzwecke, im Sommer als Kühlnetz und kann direkt durch die Geothermie-Anlage versorgt werden (Wärmepumpe-Regional 2020; Walker-Hertkorn 2017).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Energetische Gebäudesanierung

KURZINFORMATION

Unter Energieeffizienz wird das Verhältnis von erforderlicher Energie für ein bestimmtes Maß an Energienutzen (z. B. die Wärme eines Wohnraums) verstanden. Eine Steigerung der Energieeffizienz bedeutet eine Energieeinsparung bei gleichem Energienutzen (W. Irrek und S. Thomas 2008). Die Energieeffizienz kann durch

- Sanierung der Gebäudehülle,
- Modernisierung der Anlagentechnik oder
- Modernisierung von Haushaltsgeräten gesteigert werden.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Saniertes Haus nach dem Energiesprong-Prinzip (Bildquelle: Energiesprong).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input type="checkbox"/> Energiespeicherung

- Elektrizität Wärme
 Brennstoffe

Fläche

- Klimaanpassung Gesundheitsschutz
 Erhalt d. Grunddaseinsfunktion Naturschutz
 Klimaschutz

Legende:

- kein Wirkpotential Wirkpotential vorhanden geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude Grundstück Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

- k.A. m²/EW Min: k.A. Stand der Wissenschaft und Technik
Max: k.A. Stand der Technik
Üblich: k.A. Allgemein anerkannte Regeln der Technik

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Energieeffizienz umfasst alle Maßnahmen, um einen vorgegebenen Nutzen bei sinkendem Energieeinsatz zu erreichen. Ziel von Energieeffizienzmaßnahmen ist die Reduktion des Gesamtenergiebedarfs (Wesselak et al. 2017). Das größte Potenzial im Rahmen der energetischen Gebäudesanierung liegt in der Reduktion des Energieverbrauchs für Raumwärme. Auf Raumwärme entfiel im Jahr 2018 67,6 Prozent des Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte (Umweltbundesamt 2020). Eine Verringerung des flächenspezifischen Heizwärmebedarfs kann durch energetische Modernisierungen wie

- eine verbesserte Dämmung der Gebäudehülle (von Fassaden, Dächern, Kellerdecken, Dachböden),
- Fenster mit Wärmeschutzverglasung oder
- die passive Nutzung der Solarstrahlung

erreicht werden. Weiterhin kann eine effiziente Anlagentechnik gekoppelt mit der Nutzung erneuerbarer Energien den Energiebedarf zur Wärmebereitstellung reduzieren (Wesselak et al. 2017). Welche Technik und Leistung für einzelne Gebäude genutzt wird, hängt beispielsweise von der Dämmung des Hauses ab. Jedes Gebäude muss aufgrund der vielen Einflussfaktoren individuell berechnet werden. Eine Effizienzsteigerung der vorhandenen Technik kann

beispielsweise durch Absenkung der Vorlauftemperatur im Heizkreis oder Minderung der Vermischungseffekte von heißem und kaltem Wasser im Speicher erreicht werden (Wesselak et al. 2017).

Weitere Maßnahmen sind zum Beispiel:

- Beseitigung von Kältebrücken
- Belüftungsmaßnahmen ohne Wärmeverlust
- Austausch der Heizungsanlage
- Energieeffiziente Beleuchtung
- Energieberatungen
- Smart Meter, um „Stromfresser“ zu identifizieren, effizientere Großverbraucher (Waschmaschinen fördern, LED-Leuchtmittel)
- Abschaltbare Steckerleisten

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) liefert für energiesparende Gebäude einen Orientierungsmaßstab – den KfW-Effizienzhaus-Standard. Je geringer der Wert ist, desto geringer ist der Energiebedarf der Immobilie und desto mehr Förderung wird für die Sanierung gewährt. Im Vergleich zum Referenzgebäude der Energieeinsparverordnung (EnEV) benötigt ein Effizienzhaus 55 nur 55 % der Primärenergie. Der Transmissionswärmeverlust liegt bei nur 70 % und somit ist der bauliche Wärmeschutz um 30 % besser. Beispielsweise tragen folgende Maßnahmen dazu bei, den KfW-Effizienzhaus-Standard 55 zu erreichen (Kreditanstalt für Wiederaufbau 2020):

- Außenwanddämmung 18 cm
- Dachdämmung 24 cm
- Kellerdämmung 10 cm
- Fenster mit Dreifachverglasung
- Sole-Wasser-Wärmepumpe (siehe Steckbrief Wärmepumpen)

Systemskizze

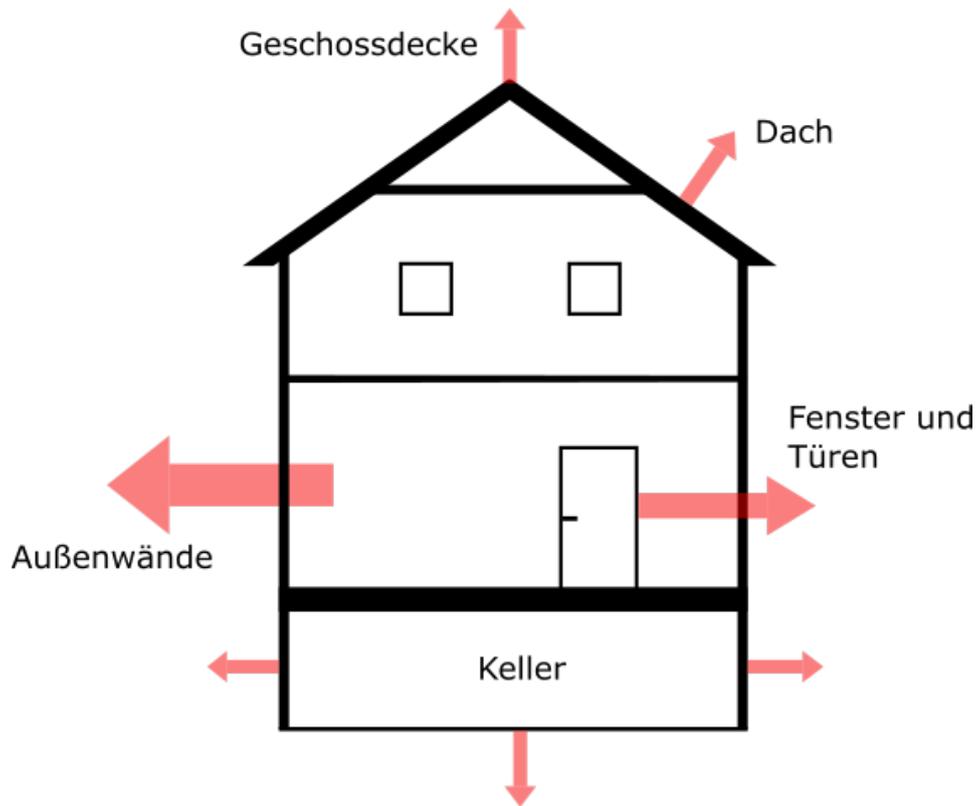


Abb. 2: Wärmeverluste an Gebäuden.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Norm/Regelwerk	Titel
DIN V 18599	Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung von Gebäuden.
VDI 3808	Energetische Bewertung von Gebäuden
DIN 4108	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	Das BMWi übernimmt 80 Prozent der Kosten für eine Energieberatung für Wohngebäude
Energieeinsparverordnung (EnEV)	Mindeststandards der Bundesregierung für die Energieeffizienz von Gebäuden. In Bezug auf ein Referenzgebäude („KfW-Effizienzhaus 100“) fördert die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) Bauprojekte. Ein „KfW-Effizienzhaus 55“ benötigt 55 Prozent weniger Energie. Je niedriger die Kennzahl, desto energieeffizienter ist der Wohnraum und desto höher ist die Förderung.

Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“	Maßnahmen wie <ul style="list-style-type: none"> • Wärmedämmung von Wänden, Dachflächen oder Geschossdecken, • Erneuerung von Fenster und Außentüren • weitere Maßnahmen wie Ladestationen für Elektrofahrzeuge, sommerlicher Wärmeschutz, Smart Meter und Smarthome-Systeme werden in dem Programm gefördert oder die komplette Sanierung zu einem „KfW-Effizienzhaus“
Marktanreizprogramm (MAP)	Förderungen für Wärme aus erneuerbaren Energien durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrollen (BAFA)
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	Die KfW fördert die energetische Sanierung beispielsweise mit zinsgünstigen Krediten.

Aufwand und Kosten

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/m ²	
min	95	min
max	275	max
üblich		üblich

Hinweis:

Die Kosten beziehen sich auf energiebedingten Mehrkosten pro m² Wohnfläche, die gegenüber einer reinen Instandsetzungsmaßnahme anfallen. Je nachdem ob ein Ein-, Zwei- oder Mehrfamilienhaus saniert wird und welcher KfW-Effizienzhaus-Standard erreicht werden soll, fallen die Kosten unterschiedlich hoch aus (BMW 2015).

Die Betriebskosten (z. B. Heiz- und Stromkosten) nehmen nach der Sanierung ab.

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Energiespartipps (BMW 2020)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur des Kühlschranks erhöhen: Spart 5 €/a bzw. 9 kg CO₂ 2. Gefrierfach regelmäßig abtauen: Spart 9 €/a bzw. 15 kg CO₂ 3. Eco-Programm der Waschmaschine nutzen: Spart 8 €/a bzw. 13 kg CO₂ 4. Waschmaschine ganz statt halb voll machen: Spart 25 €/a bzw. 43 kg CO₂ 5. Backofen mit Umluft statt Unter-/Oberhitze: Spart 18 €/a bzw. 31 kg CO₂ 6. Beim Kochen den Deckel nutzen: Spart 27 €/a bzw. 46 kg CO₂ 7. Beim Wasserkocher nur die benötigte Menge kochen: Spart 14 €/a bzw. 25 kg CO₂ 8. Glühlampen durch LED-Lampen ersetzen: Spart 55 €/a bzw. 95 kg CO₂ 9. Stand-by-Modus bei Haushaltsgeräten vermeiden: Spart 60 €/a bzw. 100 kg CO₂

Ökobilanzielle Bewertung

Die meisten Ökobilanzierungs-Fallstudien gehen von einer deutlichen Reduktion der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs aus (Vilches et al., 2017). Das Potential variiert je nach Gebäudetyp und Studie. Der Energieverbrauch der Materialien ist in maximal 7.5 Jahren wieder ausgeglichen. Die Dämmung von älteren Gebäuden hat eine schnellere Energieamortisation, als die Dämmung von neueren Gebäuden (wenige Monate- Jahre im Vergleich zu eher mehreren Jahren) (Dunkelberg und Weiß 2016). Auch das Auswechseln von Fenstern lohnt sich energetisch erst nach mehreren Jahren.

Literaturstellen

Vilches, A., Garcia-Martinez, A., Sanchez-Montañes, B., 2017. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy Build.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>

Dunkelberg, E., Weiß, J., 2016. Ökologische Bewertung energetischer Sanierungsoptionen, Gebäude-Energiewende. Berlin.

Kombinationsmöglichkeiten

[Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Wärmepumpen](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Wärmespeicher](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Bewässerung](#)

[Demand Response](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Wert der sanierten Immobilie steigt

Energiekosteneinsparungen

CO₂-Einsparungen

Fördermaßnahmen

Nachteile

Hohe Sanierungskosten

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Königspark	Königs Wusterhause n	Deutschland	Das Quartier „Königspark“ soll klimaneutral gestaltet werden. Der Energiebedarf der Gebäude wird reduziert, die Anlagentechnik optimiert und der Restenergiebedarf wird durch erneuerbare Energien gedeckt. Auf 330 000 m ² soll das Stadtviertel entstehen (dena 2015).

Quartier Kuckuck	Hameln	Deutschland	Das Quartier galt als Brennpunkt, Häuser standen leer, der Schwamm hat sich ausgebreitet. Nach kurzer Zeit entstanden nach dem Energiesprung-Prinzip sanierte Gebäude (energiesprung 2020b). Energiesprung ist ein Sanierungskonzept, das Bestandsgebäude saniert und an Energiestandards anpasst. Das Ziel ist, dass die Gebäude nach Umbau so viel Energie umwandeln, wie die Bewohner für Raumwärme, Warmwasser und Strom benötigen. Die digitale Planung und Vorfertigung der Bauteile sind innerhalb weniger Wochen umsetzbar, die Montage in einigen Tagen (energiesprung 2020a). Planung und Umsetzung findet im bewohnten Zustand statt. Finanziert wird die Maßnahme über Contracting-Modelle. Die Mieter zahlen die gewöhnlichen Nebenkosten des unsanierten Gebäudes weiter und der Bauträger finanziert den Umbau über die eingesparten Heizkosten (Oehler 2018).
------------------	--------	-------------	---

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Demand Response

KURZINFORMATION

Unter Demand Response (auch Nachfragereaktion) versteht man die Verschiebung elektrischer Lasten von Zeiten, bei denen die Nachfrage höher als das Angebot ist, zu Stunden mit Überschusserzeugung. Dies kann beim Ausgleich schwankender Produktion von volatilen erneuerbaren Energien, sowie bei der Reduktion von Lastspitzen beitragen. Demand Response stellt eine Ergänzung zu konventionellen Energiespeichern dar (Ringkjøb, Haugan und Solbrekke 2018).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch <input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input type="checkbox"/> Energiespeicherung <input type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

- kein Wirkpotential
 Wirkpotential vorhanden
 geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential
 hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude
 Grundstück
 Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
	Max:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Nutzungsdauer sowie Flächenbedarf kann für Demand Response Maßnahmen nicht bestimmt werden.

DETAILINFORMATIONEN

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Demand Response-Programme können in anreizbasierte und preisbasierte Programme unterteilt werden. Bei anreizbasierten Programmen wird Kunden eine Vergütung gewährt, wenn diese zu bestimmten Zeiten elektrische Geräte zu oder abschalten (Jordehi 2019). Da private Haushalte nur geringe zu- oder abschaltbare Lasten haben, stellen Industrieunternehmen die Zielgruppe dieser Programme dar. Unternehmen können Erlöse beispielsweise durch Spitzenlastmanagement oder durch Vermarktung von Regelenergie erzielen (dena 2012). Durch die Einführung von Smart Grids werden Verbraucher vernetzt und können in Zukunft ebenfalls schaltbare Lasten beisteuern.

Unter preisbasierten Programmen können variable Stromtarife verstanden werden. Zu bestimmten Zeitintervallen, beispielsweise in der Nacht und am Tag, haben diese unterschiedliche Strompreise. Kunden werden so motiviert den Verbrauch in die günstigen Zeiten zu verschieben, wodurch Lastspitzen geglättet werden können. Durch die Smart-Meter-Technologie können stündlich variierende Strompreise angeboten werden (Jordehi 2019).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Verbrauchsampel können eine konkrete Maßnahme in der Quartiersplanung darstellen. Der Nutzungsgrad des im Quartier produzierten Stroms kann durch geschickten Einsatz solcher Maßnahmen erhöht werden. Eine Studie der EON Metering GmbH kam zu dem Ergebnis, dass Endkunden bis zu 25 Prozent ihrer Stromkosten durch variable Stromtarife sparen können. Eine Ampel auf dem Smartphone zeigt den Verbrauchern, in welchem Bereich sich das aktuelle Strompreisniveau befindet. Die Verbraucher verschieben ihre Lasten in niedrige Bereiche und sparen Kosten (enbausa 2017).

Systemskizze

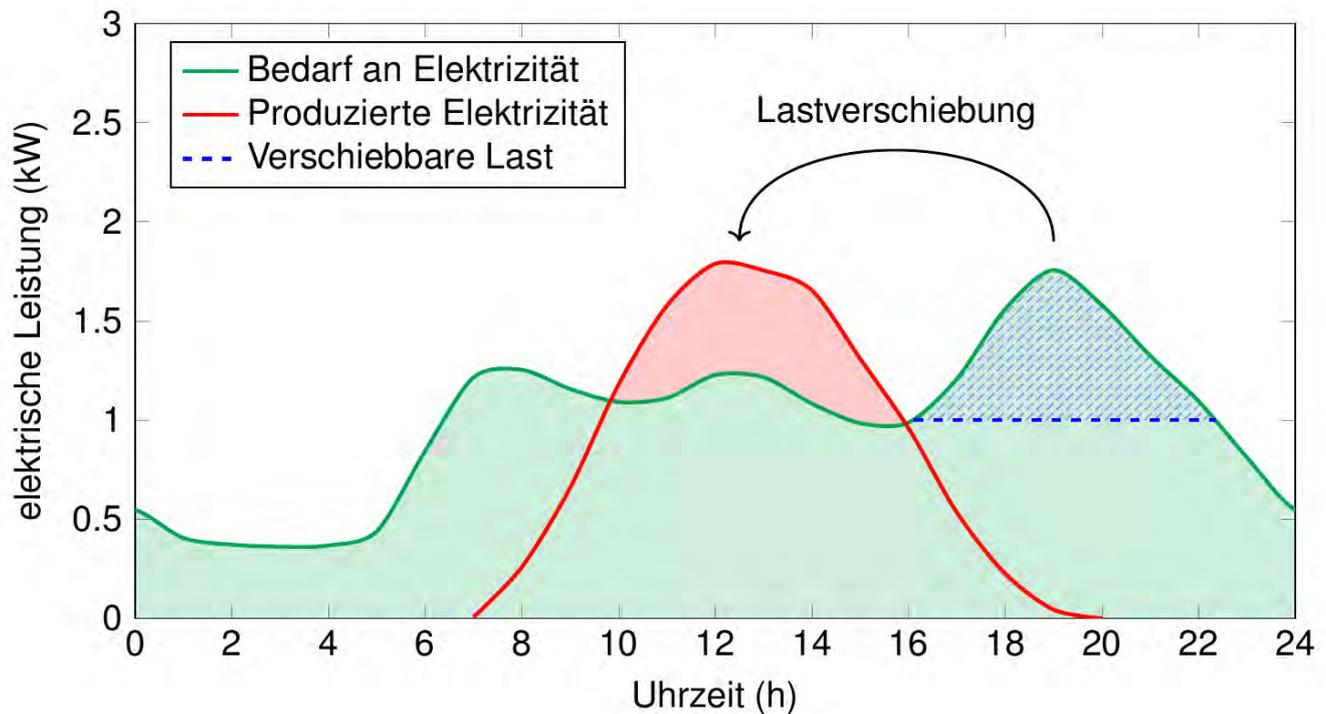


Abb. 2: Lastgang eines durchschnittlichen Haushalts (grün) und ein möglicher Lastgang einer Photovoltaikanlage (rot). Durch eine Lastverschiebung des Verbrauchs von den Abend- in die Morgenstunden (blau) kann der Nutzungsgrad von der Photovoltaikanlage produzierten Elektrizität gesteigert werden.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Norm/Regelwerk	Titel
Flexible Last	Unternehmen können auf unterschiedlichen Marktfeldern ihre flexiblen Lasten anbieten: dem Regelleistungsmarkt, dem Spotmarkt oder dem Markt für abschaltbare Lasten.
Netzentgeltprivilegierungstatbestand	Der Netzentgeltprivilegierungstatbestand für steuerbare Verbrauchseinrichtungen besagt, dass Verteilnetzbetreiber bei Überschussstrom zum Beispiel Elektromobile ansteuern darf, um dadurch einem Netzengpass zuvorzukommen. Der Anlagenbetreiber erhält im Gegenzug reduziertes Netzentgelt (dena 2019).

Energiewirtschaftsgesetz	Nach § 14a Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) können Verteilnetzbetreiber den Letztverbrauchern ein reduziertes Netzentgelt berechnen, wenn mit ihnen im Gegenzug die netzdienliche Steuerung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen vereinbart wird (Wärmepumpen, Speicherheizungen, Elektrofahrzeuge). Nach § 40 Abs. 5 EnWG müssen Stromlieferanten den Letztverbrauchern lastvariable Tarife anbieten, um einen Anreiz zum Energiesparen oder zur Steuerung des Energieverbrauchs zu schaffen (dena 2019).
Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“	Lastmanagement-Bonus für Wärmepumpen: Wärmepumpenanlagen, die über eine Schnittstelle netzdienlich aktiviert werden können, erhalten eine Zusatzförderung von 500 € (bafa 2019).
Sonstiges	Weitere relevante Gesetze: Strommarktgesetz, Energiewirtschaftsgesetz, Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV)

Aufwand und Kosten

Die Kosten für Erschließung und Betrieb der Demand Response (DR) – Maßnahmen beschränken sich auf die Kosten der Informations- und Kommunikationstechnik. Durch den vorgesehenen Smart-Meter-Rollout (vgl. Steckbrief Smart Grid) entsteht eine Smart-Meter-Infrastruktur. Durch die Infrastruktur und Hausautomatisierungsmaßnahmen sinken die Kosten (ffe 2016). Weiterhin fallen Kosten für die Anreizzahlungen der Verbraucher an. Verbraucher müssen zur Umsetzung von DR-Maßnahmen ihr Konsumverhalten anpassen. Um Kosten einzusparen müssen beispielsweise Großverbraucher wie Waschmaschinen zu Zeiten geringer Stromnachfrager eingeschaltet werden. Da die meisten Großverbraucher programmierbar sind hält sich die Komforteinbuße in Grenzen (Jordehi 2019; ffe 2010).

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/MWh*Vorgang		€/MWh*Vorgang	€/MWh	€/MW
min	20	min	5	0	0
max	2 000	max	1 000	400	500
üblich		üblich			

Hinweis:

Die Investitionskosten (Betriebskosten) der DR-Logik sind abhängig von der schaltbaren Leistung, zusammengefasst in 1-Stunden-Blöcken mit 1 MW. In der Tabelle wurde angenommen, dass die Mehrkosten für Geräte bei 50 € liegen und die Geräte fünf Mal pro Woche für DR-Maßnahmen beansprucht werden. Bei einer Lebensdauer von 10 Jahren pro Gerät belaufen sich die Mehrkosten durch die Investition auf 1,92 ct/Schaltvorgang (ffe 2010). Geräte mit geringer Leistung (z. B. 10 W) führen zu höheren Kosten, da mehr Geräte geschaltet werden müssen. Die obere Grenze bezieht sich auf 100 000 Geräte mit 10 W, die untere Grenze auf 1 000 Geräte mit 1 000 W. Der Strompreis wird zwischen 15 - 30 ct/kWh angenommen (je nach Kunden verschieden), Stromverbrauch der Logik mit 1 Watt (ffe 2010). Die zweite Zeile gibt beispielsweise die Kosten für Betreiber von Übertragungsnetzen

an (AbLaV §4 (2)). Der Leistungspreis bezieht sich auf die Kosten für die bereitgestellte Leistung, der Arbeitspreis auf Inanspruchnahme der Abschaltleistung (siehe auch Markt für Regel- oder Ausgleichsenergie, Spotmarkt).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's (Winkelmann und Klima 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Bestehende Infrastruktur nutzen (z. B. Schnittstellen gängiger Automatisierungstechnologien) • Einführung einer Feedbackkomponente zur Erzielung verhaltensändernder Maßnahmen (Social Competition, Social Normative Feedback, Goal Setting) • Informationsveranstaltung zum umweltbewussten Verhalten durch DR-Maßnahmen und zum Datenschutzbedenken
weiterführende Links	Ausschreibungen zur Bereitstellung von Regelleistung durch Stromabnehmer

Ökobilanzielle Bewertung

Die dynamische Bepreisung von Energie um Anreize für die Energienutzung zu Zeitpunkten mit geringer CO₂-Intensität zu schaffen hat das Potential den CO₂-Ausstoß deutlich zu reduzieren (Stoll et al., 2014). Es ist anzunehmen, dass damit auch andere Umweltauswirkungen, vor allem lokale Luftverschmutzung reduziert werden können, da zur erneuerbaren Energieerzeugung meist keine Verbrennungsprozesse notwendig sind.

Literaturstellen

Stoll, P., Brandt, N., Nordström, L., 2014. Including dynamic CO2 intensity with demand response. Energy Policy 65. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.044>

Kombinationsmöglichkeiten

[Batteriespeicher](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Smart Grids](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Bewässerung](#)

[Regenwassernutzung](#)

[Kombinierte Regen- und Grauwassernutzung](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Mieterstrommodelle](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

DR-Programme vermindern Lastspitzen, wodurch der durchschnittliche Bedarf sinkt und weniger in Energieanlagen investiert werden muss

Die Spitzenlastdeckung durch Kraftwerke mit schlechten Emissionswerten kann vermieden werden.

Die Ressource Elektrizität wird effizienter genutzt

Der Nachteil volatiler Einspeisung wird gedämpft

Verbraucher sparen Geld durch Nutzung günstigerer Tarife

Nutzungsgrad des im Quartier produzierten Strom

Nachteile

Preisunterschiede zwischen den einzelnen Tarifen zu gering, dadurch fehlender Anreiz

Aufwand für Abrechnung

Ggf. Einschränkungen auf der Verbrauchsseite nötig

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
E-DeMa	Krefeld und Mühlheim	Deutschland	Im Projekt E-DeMa (2009 – 2013) wurden sowohl preis- wie auch anreizbasierte Programme angewendet. Bei den anreizbasierten DR-Maßnahmen stellten Verbraucher beispielsweise ihre Waschmaschinen für einen bestimmten Zeitraum zur Verfügung. Umfasst die Bereitstellungsdauer den Zeitraum zwischen 9 – 18 Uhr, erhielten Verbraucher eine Vergütung. Weiterhin erhielten Verbraucher eine jährliche Prämie, wenn mindestens 40 Mal im Jahr Maschinen zur Verfügung gestellt wurde. Bei den preisbasierten Ansatz konnten Verbraucher ihre Lasten nach Stromtarifen steuern (Michael Laskowski 2013).

aWATTar, Discovery	Österreich, Deutschland	<p>Das Unternehmen Discovery bietet intelligente Stromzähler an. Über die App des Unternehmens werden beispielsweise die eigenen Verbräuche, die Leistung der Photovoltaik (PV) -Anlage oder der Börsenstrompreis der European Energy Exchange (EEX) in Echtzeit dargestellt. Der Strompreis unterliegt Schwankungen infolge von Angebot und Nachfrage. Bei „grün“ wird der günstigste Preis des Tages erreicht. Bei „rot“ zahlen die Energieversorger den höchsten Preis. Die meisten Nutzer bezahlen einen Festpreis pro kWh. Die Nutzer können keinen finanziellen Vorteil aus den Schwankungen ziehen. Allerdings trägt der Nutzer beim Verbrauchen in den grünen Zeitintervallen dazu bei, ein klimafreundliches Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch zu erreichen. Die Nachfrage in Peak-Zeiten (z. B. Abends) wird gesenkt, wodurch die Zeitabschnitte der Kohlekraftwerke reduziert werden. Verbraucher müssen keine Komforteinbuße in Kauf nehmen, denn Großverbraucher wie Waschmaschinen können programmiert werden. Der österreichische Energielieferant aWATTar kooperiert mit dem Unternehmen Discovery. AWATTar bietet in Deutschland Stromtarife mit stündlicher Preisanpassung an. Die Kunden zahlen die monatliche Anschlussgebühr, alle Steuern und Abgaben pro kWh. Auf diesen Betrag wird der variable Börsenpreis hinzugerechnet. Durch die niedrigen Strompreise werden Endkunden motiviert, ihren Verbrauch zu verlagern und somit mehr Platz im Netz für die erneuerbaren Energien zu schaffen. Der Strombeschaffungspreis hat einen Anteil von 20 Prozent am gesamten Strompreis. Die jährlichen Einsparungen belaufen sich je nach Verbrauch auf mehrere hunderte Euro (Pablo Santiago 2019).</p>
Stadt als Speicher	Herten	<p>Das Forschungsvorhaben „Die Stadt als Speicher“ in Herten hat sich auf die zentrale Koordinierung von virtuellen Energiespeichern fokussiert und damit auf die Nutzung von Flexibilitätsoptionen. Blockheizkraftwerke, Photovoltaik-Anlagen, Elektrospeicherheizungen, Wärmepumpen und Stromspeicher wurden in ein zentrales Managementsystem integriert. Durch Simulation wurden Flexibilitätsoptionen von zeitlich verschiebbaren Stromverbrauchern und -erzeugern identifiziert. Außerdem wurden Speichermöglichkeiten sichtbar, die zuvor nicht bekannt waren (Speicherpotential von 5 MWh).</p>

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Wärmespeicher

KURZINFORMATION

Wärmespeicher sind Anlagen zur Speicherung thermischer Energie (Sternner und Stadler 2017). Wärmespeicher ermöglichen durch die zeitliche Entkopplung der Wärmenachfrage und den Anforderungen des Stromsystems eine flexible Betriebsweise von Anlagen zur Energiebereitstellung (Prognos und AGFW 2011).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Wärmespeicher des Unternehmens N-ERGIE (Bildquelle: N-ERGIE).

Ressource

Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input checked="" type="checkbox"/> Energiespeicherung <input checked="" type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|---|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|---|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,35 m ² /MWh	Max:	k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf ist abhängig von der Speicherart, Bauart und Speicherkapazität und kann nicht genau beziffert werden. Der abgebildete Wärmespeicher von N-Ergie beansprucht circa 0,35 m²/MWh (N-Ergie 2020). In der Praxis kommen vor allem sensible Speicher zum Einsatz. Latente und thermochemische Speicher befinden sich in der Entwicklungsphase (Maier 2017).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Zur Speicherung von thermischer Energie kommen drei Arten von Wärmespeichern zum Einsatz: sensible, latente und thermochemische Wärmespeicher. Die Technologien unterscheiden sich in der Energiedichte und der maximalen speicherbaren Temperatur. Wie viel thermische Energie der Speicher aufnehmen kann, hängt von der Wärmekapazität des Speichermediums sowie der nutzbaren Temperaturdifferenz ab (Maier 2017).

Sensible Speicher: Beim laden des Speichers wird die Temperatur des Wärmeträgermediums (aufgrund seiner hohen Wärmekapazität meist Wasser) mithilfe von Wärmeübertragern erhöht. Beim Entladevorgang wird die gespeicherte Wärmeenergie entzogen und das Wärmeträgermedium kühlt ab. Sensible Speicher kommen als Kurzzeitspeicher (bspw. als Pufferspeicher in Heizungsanlagen) oder als Großspeicher in Kombination mit Wärmenetzen zum Einsatz. Letztere bestehen aus zwei Schichten unterschiedlicher Temperatur. Zur Beladung des Speichers fließt warmes Wasser aus dem Wärmenetz in den Speicherbehälter und kaltes Wasser in das Wärmenetz zurück. Zur Entladung des Speichers wird umgekehrt kaltes Wasser in den Behälter geleitet und heißes Wasser fließt ins Netz. Alternative Wärmeträgermedien sind Gestein, Beton, Keramik oder Flüssigsalz (Sternner und Stadler 2016, Maier 2017).

Latentwärmespeicher: In Latentwärmespeichern werden die thermodynamischen Prozesse von Phasenwechseln genutzt. Bei der Anhebung des Speichermediums auf einen höheren Aggregatzustand (fest => flüssig => gasförmig) speichert das Medium Energie, ohne dabei die

eigene Temperatur zu verändern. Bei der Absenkung des Aggregatzustandes (gasförmig => flüssig => fest) wird entsprechend Wärme freigegeben. Die eingesetzten Speichermedien werden als „Phase Change Materials“ (PCM) bezeichnet.

Thermochemische Speicher: Thermochemische Speicher arbeiten mit umkehrbaren chemischen Reaktionen. Durch die Wärmezufuhr ändert sich die chemische Zusammensetzung des Wärmeträgermediums, ohne dass dabei das Speichermedium unumkehrbar zerstört wird (im Gegensatz zur Verbrennung). Sorptionsspeicher sind beispielsweise thermochemische Speicher (Sternner und Stadler 2016, Maier 2017). Sorptionsspeicher arbeiten mit einem Speicher- und einem Arbeitsmedium. Bei der Sorption verbindet sich das Arbeitsmedium mit dem Speichermedium. Sorptionswärme wird freigesetzt beziehungsweise der Speicher wird entladen. Durch Wärmezufuhr beginnt die Desorption des Speichers. Arbeitsmedium und Speichermedium werden getrennt. Der Speicher wird geladen.

Durch den Einsatz von Wärmespeicher wird die Integration erneuerbarer Energie vorangetrieben. Wärmespeicher bieten Lösungen, um Wärme, die zum Zeitpunkt der Erzeugung (z. B. im Sommer) nicht direkt verbraucht werden kann, zu einem späteren Zeitpunkt (z. B. im Winter) nutzbar zu machen (Maier 2017). Weiterhin sind Wärmespeicher wichtig für die Kopplung der Sektoren Strom und Wärme. Mit Hilfe von Wärmespeichern können beispielsweise Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen effizienter genutzt werden. Ist der Strombedarf hoch und der Wärmebedarf niedrig, wird die nicht benötigte Wärme in den Wärmespeicher geleitet. Wenn viel Strom aus erneuerbaren Energien im Netz vorhanden ist, reduziert die Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ihre Leistung. Wärmekunden können dann zusätzlich aus dem Wärmespeicher versorgt werden. Alternativ zur Leistungsreduzierung könnte Überschussstrom aus erneuerbaren Energien durch Power-to-Heat-Anlagen (vgl. Steckbrief Power-to-Heat) in Wärme umgewandelt und in Wärmespeicher geleitet werden (N-Ergie 2020).

Systemskizze

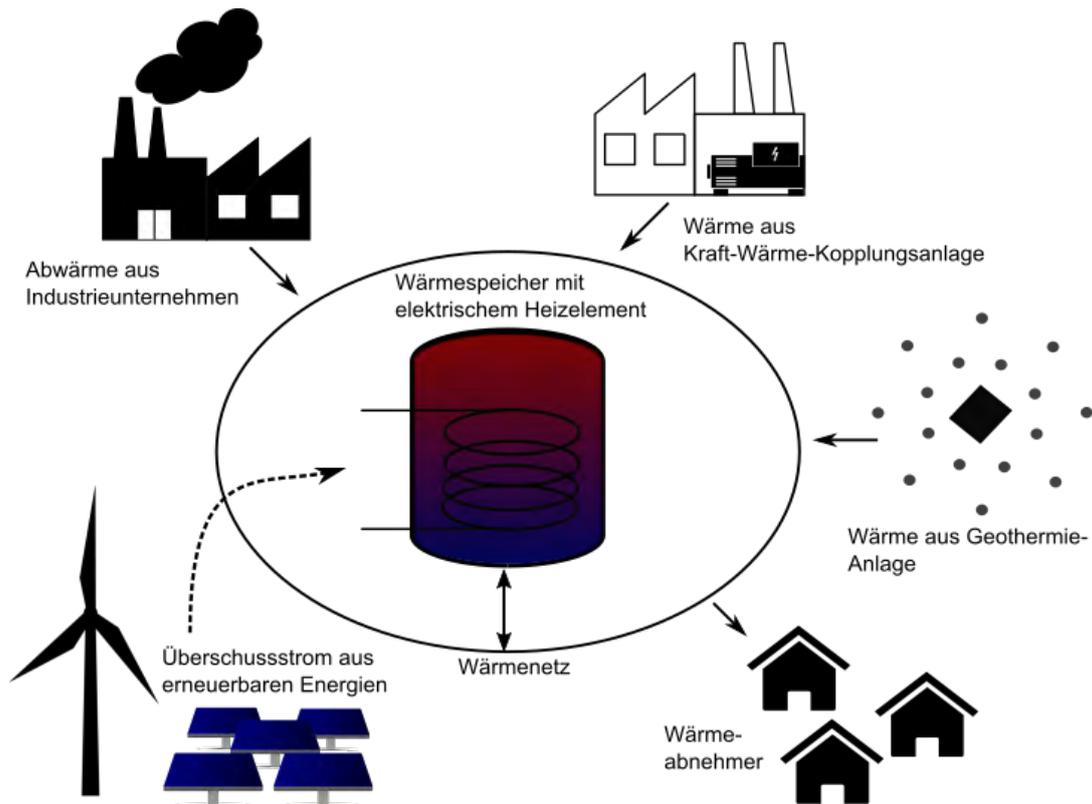


Abb. 2: Siehe Funktionsbeschreibung.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Norm/Regelwerk	Titel
DIN 2384	Thermische Energiespeicher - Terminologie, Anforderungen, Kenngrößen, Prüfgrundlagen
VDI 4657 Blatt 2	Planung und Einbindung von Energiespeichern im Gebäude - Thermische Energiespeicher (Erscheinungsdatum März 2022)
VDI 4657 Blatt 1	Planung und Einbindung von Energiespeichern im Gebäude - Grundlagen (Erscheinungsdatum März 2022)
VDI 4640 Blatt 3	Thermische Nutzung des Untergrunds; Unterirdische Thermische Energiespeicher
VDI 2164	PCM-Energiespeichersysteme in der Gebäudetechnik
AGFW FW 313	Berechnung der thermischen Verluste von thermischen Energiespeichern
Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG)	Gemäß § 22 Abs. 1 KWKG werden Zuschüsse für Wärmespeicher gewährt, Voraussetzung ist, dass 50 Prozent der Wärme aus KWK-Anlagen stammt. Alternativ kann die Wärme auch durch industrielle Abwärme oder erneuerbare Energien ersetzt werden

Marktanreizprogramm (MAP) Im Rahmen das MAP gibt es Förderungen für die Errichtung oder Erweiterung von Wärmespeichern über 10 m³

Aufwand und Kosten

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/kWh	€/kWh	€/kWh		€/kWh	€/kWh	€/kWh
min	0,1	10	8	min	0,02	0,2	0,16
max	10	50	100	max	0,2	1	2
üblich				üblich			

Hinweis:

Die spezifischen Investitionskosten werden in Euro pro Speicherkapazität angegeben (Sterner und Stadler 2016).

Die Betriebskosten setzen sich aus den thermischen Verlusten (ca. 2 % der Investition) und dem elektrischen Eigenbedarf der Pumpe zusammen (ffe 2016).

In der ersten Spalte stehen die Kosten für sensible Speicher, in der zweiten für Latentwärmespeicher und in der dritten für thermochemische Speicher.

Weitergehende Hinweise

Parameter

Wert

Hersteller	Linde, Vattenfall, Vailant
Energiedichte (ffe 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Sensible Speicher: 20 -100 kWh/m³ • Latente Speicher: 50 - 150 kWh/m³ • Thermochemische Speicher: 100 - 400 kWh/m³

Ökobilanzielle Bewertung

Die Ökobilanz von Wärmespeichern hängt stark von der verwendeten Technologie ab. Die fällt z.B. bei zentralen sensiblen Wärmespeichern, anders aus als bei dezentralen Systemen oder Latentwärmespeichern.

Kombinationsmöglichkeiten

[Power-to-Heat](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Biomasseheizwerke](#)

[Solarthermieranlagen](#)

[Geothermieranlagen](#)

[Demand Response](#)

[Wärmepumpen](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Wärmenetze](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Dezentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Flexibler Betrieb von Kraftwerken möglich

Ein Warmwasserspeicher stellt schnell warmes Trinkwasser zur Verfügung

Wärmespeicher ermöglichen einen effizienteren Betrieb von Solarthermieanlagen, Gas-Brennwert-Anlagen und Wärmepumpen

Erweiterung zur Power-to-Heat-Anlage möglich, dadurch Teilnahme am Regelenergiemarkt

Wärmespeicher reduzieren den Einsatz von Spitzenlastkesseln

Nachteile

Hoher Platzbedarf

Zusätzliche Anschaffungskosten

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
	Rendsburg	Deutschland	In Rendsburg ist ein Eisspeicher für zwei Bestandsgebäude im Einsatz. Der Kälte- und Wärmebedarf entspricht dem von 133 Einfamilienhäusern. Der Eisspeicher hat ein Volumen von 560 m ³ . Der Eisspeicher dient als Niedertemperaturquelle für eine Wärmepumpe. Neben Eisspeicher und Wärmepumpe decken zwei Sole-Wasser-Wärmepumpen und vier Gas-Brennwert-Geräte den Wärmebedarf (cleanthinking 2020).

N-Ergie	Nürnberg	Deutschland	Der Nürnberger Versorger N-Ergie betreibt einen der höchsten und modernsten Wärmespeicher in Europa. Wasser mit Temperaturen von über 100 °C werden eingespeichert. Der atmosphärische Speicher hat einen geringen Wartungsaufwand. Der Wärmespeicher entkoppelt die Stromerzeugung eines Heizkraftwerks zeitlich von der Wärmeerzeugung. Dadurch kann das Kraftwerk flexibler betrieben werden und auf Schwankungen im Stromnetz reagieren. Überschussstrom zu Zeiten geringer Nachfrage wird günstig eingekauft und über zwei Elektroheizer an den Speicher abgegeben. Der Wärmespeicher ist mit einem Fernwärmenetz verbunden (Teuffer 2020).
---------	----------	-------------	--

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Power-to-Gas

KURZINFORMATION

Unter Power-to-Gas (kurz PtG oder P2G) versteht man die Umwandlung elektrischer Energie in chemische Energie. Mittels Elektrolyse wird unter Einsatz elektrischer Energie Wasserstoff generiert. Der Wasserstoff kann zur Sektorenkopplung (Elektrizität-Wärme, Elektrizität-Mobilität) genutzt oder für eine spätere Rückverstromung gespeichert werden.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Links: Helmeth Power-to-Gas Prototyp. Bestehend aus CO₂-Methanisierung (links) und druckbetriebener hoch Temperatur Dampfelektrolyse (rechts) (Bildquelle: Manuel Gruber). Rechts: PtG-Anlage von Uniper (Bildquelle: Uniper).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung
	<input type="checkbox"/> Förderung Behandlung	<input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung
	<input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung	<input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge
	<input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input checked="" type="checkbox"/> Energiespeicherung

- Elektrizität Wärme
 Brennstoffe

Fläche

- Klimaanpassung Gesundheitsschutz
 Erhalt d. Grunddaseinsfunktion Naturschutz
 Klimaschutz

Legende:

- kein Wirkpotential Wirkpotential vorhanden geringes Wirkpotential
 mittleres Wirkpotential hohes Wirkpotential

Anwendungsebene

- Gebäude Grundstück Quartier

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min:	k.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,112 m ² /kW	Max:	30	<input checked="" type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	25	<input type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Der Flächenbedarf von Power-to-Gas-Anlagen ist relativ hoch, kann aber durch die Verwendung der vorhandenen Erdgasinfrastruktur verringert werden. Die Daten stammen aus der GEMIS-Datenbank und beziehen sich auf ein Wasserstoff-Elektrolyseur, Strom aus Windenergie (onshore) (IINAS 2020). Dezentrale PtG-Anlagen werden in ersten Pilotprojekten getestet, zentrale Anlagen können gegenwärtig nicht wirtschaftlich betrieben werden.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Mithilfe des chemischen Prozesses der Elektrolyse kann durch den Einsatz elektrischer Energie Wasser (H₂O) in seine nutzbaren Bestandteile Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O) getrennt werden. Der gewonnene Wasserstoff kann so gespeichert und anschließend rückverstromt oder anderweitig genutzt werden. An wind- und sonnenreichen Tagen kann so beispielsweise überschüssig erzeugter Strom von regenerativen Stromerzeugungsanlagen für die Elektrolyse aufgewendet werden und in Form von Wasserstoff gespeichert werden. Die Power-to-Gas-Technologie ermöglicht, Energiemengen über einen Zeitraum von mehreren Monaten zu speichern. Die Langzeitspeicher stellen Kapazitäten für ganze Monate aber insbesondere für die saisonale Lastverschiebung zur Verfügung.

Durch den weiteren Prozess der Methanisierung kann der Wasserstoff durch die Einbringung von Kohlenstoffdioxid CO₂ in Methan (CH₄) und so in synthetisches Erdgas (engl. synthetic natural gas,

kurz SNG) umgewandelt werden. Durch diesen Prozess kann die bestehende Erdgas-Infrastruktur zur Speicherung und Rückverstromung genutzt werden. SNG kann beispielsweise in Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerken zur direkten Stromerzeugung verwendet werden (dena 2019). Die Verbrennung dieses synthetischen Erdgases gilt als klimaneutral, da das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ beim vorherigen Methanisierungsprozess gebunden wurde.

Der Wasserstoff kann auch für industrielle Zwecke und den Mobilitätssektor bereitgestellt werden. Wasserstoff darf gesetzlich bis zu wenigen Volumenprozent in das Erdgasnetz eingespeist werden, wobei mittlerweile Machbarkeitsstudien bewiesen haben, dass weitaus höhere Einspeisungen möglich wären (Dörr et al. 2016; Sterner und Stadler 2017).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Zentrale Power-to-Gas-Anlagen

Zentrale Anlagen im MW-Bereich können nur an bestimmten Standorten errichtet werden. Im urbanen Raum ist die Umsetzung aufgrund der Anlagengröße nur schwer möglich. Potentiale ergeben sich am Stadtrand oder außerhalb der Stadt. Standorte außerhalb der Stadt bieten die Nähe zu den Erzeugungseinheiten (z. B. Windkraftanlagen). Neben dem Vertrieb der Gase kann ein weiteres Geschäftsmodell die Teilnahme am Regelenergiemarkt sein (dena 2019).

Dezentrale Power-to-Gas-Anlagen

Dezentrale PtG-Anlagen können beispielsweise in Wohn- oder Gewerbegebäuden installiert werden. Photovoltaik-Anlagen können auf den Dächern der Gebäude Strom für die Elektrolyse bereitstellen. Der erzeugte Wasserstoff kann saisonal gespeichert und im Winter zur Stromerzeugung verwendet werden. Der Strom wird mit Hilfe von Brennstoffzellen oder Blockheizkraftwerke gewonnen. Außerdem kann der Wasserstoff zur Betankung von Wasserstoff-Fahrzeugen genutzt werden. Alternativ kann nach Methanisierung das synthetische Erdgas für Heizzwecke in herkömmlichen Brennwertkesseln verbrannt werden.

Systemskizze

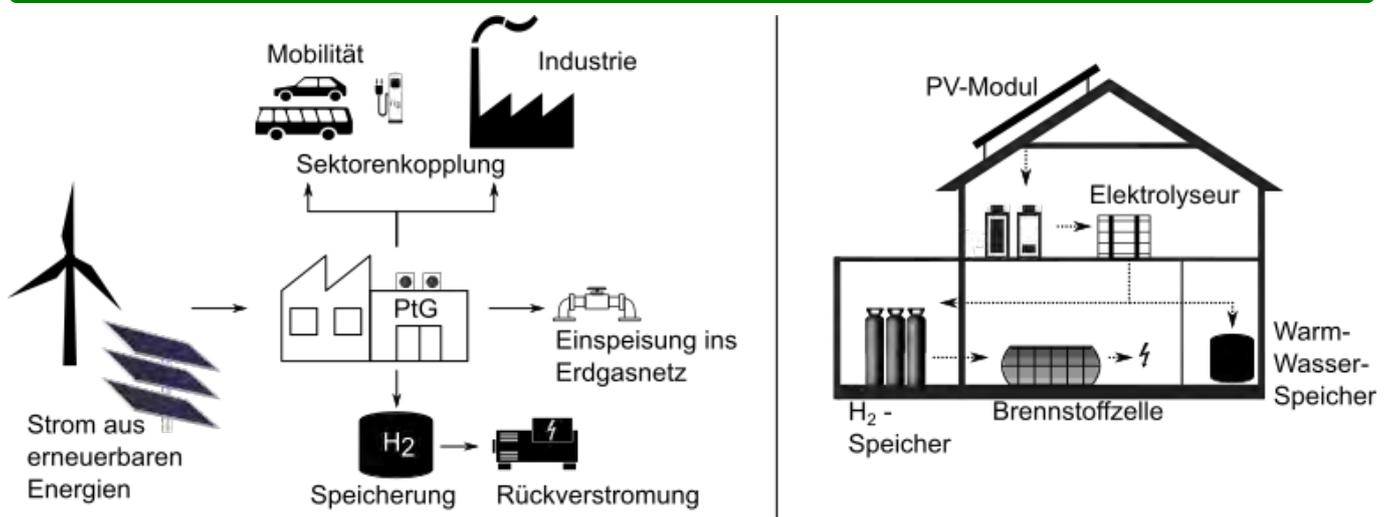


Abb. 2: Zentrale (links) und Dezentrale (rechts) Power-to-Gas Anlagen.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Norm/Regelwerk	Titel
VDI 4635	Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) veröffentlicht mit der Richtlinie technische Regeln zur Wasserstofferzeugung und CO ₂ -Abtrennung. Weiterhin werden Planung und Auslegung von Anlagen thematisiert. Als mögliches Erscheinungsdatum nennt der VDI Februar 2022.
DVGW Arbeitsblatt G 260 und G262	Wird Wasserstoff in das Gasnetz eingespeist, muss sichergestellt werden, dass das synthetische Gas den Voraussetzungen gemäß DVGW Arbeitsblatt G 260 (Gasbeschaffenheit) und G 262 (Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung) entspricht.
Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG)	Nach dem EEG werden PtG-Anlagen von der EEG-Umlage befreit, wenn der Strom direkt aus erneuerbaren Energien stammt oder wenn das Speichergas zwischengespeichert und anschließend zur Rückverstromung eingesetzt wird (dena 2015).
Stromsteuergesetz (StromStG)	Nach dem StromStG entfällt die Stromsteuer, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien stammt. Die Stromerzeugungsanlagen (Nennleistung bis 2 MW) müssen im räumlichen Zusammenhang zu der PtG-Anlage stehen (dena 2015).
Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG)	Nach dem KWKG entfällt der KWK-Zuschlag (dena 2015).
Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)	Das EnWG befreit PtG-Anlagen von Entgelten bei der Einspeisung von Wasserstoff oder Methan ins Erdgasnetz. Die Gase werden wie Biogas behandelt, wenn Strom und CO ₂ überwiegend aus erneuerbaren Quellen stammt (dena 2015).

Aufwand und Kosten

Investitionskosten		Betriebskosten	
	€/kW		€/kW*a
min	2 500	min	100
max	3 500	max	140
üblich		üblich	

Hinweis:

Die Investitionskosten sind abhängig von der Anlagengröße. Die Elektrolyse-Anlage macht den größten Anteil der Kosten aus. Bei der alkalischen Elektrolyse ist mit Investitionskosten von 1 500 € je kW zu rechnen (EUWID 2020). Die spezifischen Kosten nehmen mit zunehmender Anlagenleistung ab. Erfolgt nach der Elektrolyse eine Methanisierung fallen weitere Kosten für eine Mechanisierungsanlage an (Zapf 2017).

Die Betriebskosten liegen jährlich bei circa bei 4 Prozent der Investitionskosten pro Jahr (Zapf 2017).

Weitergehende Hinweise

*Daten stammen aus der GEMIS-Datenbank und beziehen sich auf ein Wasserstoff-Elektrolyseur, Strom aus Windenergie (onshore).

Parameter	Wert
Hersteller	Elektrochaea, Exytron
Gesamtwirkungsgrade der Umwandlungsprozesse nach (Sternner und Stadler 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Strom zu Wasserstoff: 54 – 79 % • Strom zu Methan: 49 – 78 % • Strom zu Methan zu Wärme und Strom (KWK-Anlage): 43 – 68 %
Roadmaps	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Energie Agentur • Forschungsprojekt Store & GO • Fraunhofer
*CO ₂ -Äquivalent	12,85 g/kWh
*Kumulierter Energieverbrauch	1,46 kWh/kWh
*Prozesskosten	0,094 €/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Hängt sehr stark von den CO₂-Emissionen des zu bewertenden Energiemixes ab, wobei die Erzeugung von Gas aus erneuerbaren Energien der Erzeugung aus fossilen Energieträgern zu bevorzugen ist. Zudem konnte eine Studie zeigen, dass die Erzeugung von Wasserstoff aus Energie ein größeres Einsparungspotential hat als die Erzeugung von Methan (Zhang et al., 2017).

Literaturstellen

Zhang, X., Bauer, C., Mutel, C.L., Volkart, K., 2017. Life Cycle Assessment of Power-to-Gas: Approaches, system variations and their environmental implications. Appl. Energy 190. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.098>

Kombinationsmöglichkeiten

[Power-to-Mobility](#)

[Smart Grids](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Demand Response](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Nutzung vorhandener Gasnetz-Infrastruktur	Teure Speicheroption
Möglichkeit CO ₂ aus industriellen Prozessen zu binden	Hohe Wirkungsgradverluste bei Rückverstromung
Ersetzung von fossil erzeugtem Wasserstoff	
Langfristige Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien, dadurch sinkt die Importabhängigkeit	
Flexibilisierung des Stromsystems indem Regenergie bereitgestellt wird	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Home Power Solutions		Deutschland	Das Unternehmen Home Power Solutions bietet einen saisonalen Wasserstoffspeicher an. Überschüssiger Strom von einer PV-Anlage eines Einfamilienhauses wird in Wasserstoff umgewandelt und zwischengespeichert. Im Winter nutzt eine Brennstoffzelle den Wasserstoff, um daraus wieder Strom und Wärme zu erzeugen (Home Power Solutions 2015).
	Augsburg	Deutschland	Die Stadtwerke Augsburg testen eine PtG-Anlage in einem sanierten Wohnblock aus dem Jahr 1974. Die Anlage wandelt regenerativen Strom aus PV-Anlagen (150 kW) in synthetisches Erdgas um. Das Gas wird entweder in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verstromt oder über eine Brennwerttherme in Wärme umgewandelt. Insgesamt werden 70 Wohneinheiten versorgt. Das aus der Verbrennung im BHKW entstehende CO ₂ wird aufgefangen und zur Methanisierung eingesetzt. Weiterhin besitzt die Anlage einen Gasspeicher, in dem überschüssiges Gas gespeichert werden kann. Der Nutzungsgrad des Gebäudes liegt bei 90 Prozent (SW Augsburg 2020).

Unternehmen Fronius	Deutschland	Das Unternehmen Fronius hat eine dezentrale Anlage zur Erzeugung von Wasserstoff entwickelt. Aus Photovoltaik (PV) - Strom wird mit einem Hochelektrolyseur grüner Wasserstoff gewonnen. Der Wasserstoff kann zur Betankung von H ₂ -Fahrzeugen genutzt werden. Weiterhin bietet die Anlage die Möglichkeit den Wasserstoff zwischenspeichern. Zu einem späteren Zeitpunkt kann der Brennstoff durch eine Brennstoffzelle zur Rückverstromung eingesetzt werden. Eine Brennstoffzelle erzeugt beispielsweise aus Wasserstoff und Sauerstoff Strom (Fronius 2020).
------------------------	-------------	--

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter

<https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Power-to-Heat

KURZINFORMATION

Unter Power-to-Heat (kurz PtH oder P2H) versteht man die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme. Die Nutzung von Strom zur Wärmeversorgung gewinnt besonders dann an Relevanz, wenn Überschüsse aus erneuerbaren Energien genutzt werden.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Elektrodenheizkessel (22 m³) von Vattenfall in einer PtH-Anlage in Berlin (Bildquelle: Vattenfall).

Ressource

Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser	<input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss	<input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung
Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung <input type="checkbox"/> Verwertung <input type="checkbox"/> Recycling	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung <input type="checkbox"/> Beseitigung
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung <input type="checkbox"/> Energieverbrauch <input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität <input type="checkbox"/> Brennstoffe	<input type="checkbox"/> Energieverteilung <input checked="" type="checkbox"/> Energiespeicherung <input checked="" type="checkbox"/> Wärme
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung <input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion <input type="checkbox"/> Klimaschutz	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz <input type="checkbox"/> Naturschutz

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|---|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gebäude | <input checked="" type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|---|--|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

0,05 - 0,08 m ² /EW	Min:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
m ² /kW	Max:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Auf Quartiersebene werden Elektrodenheizkessel im MW Leistungsbereich eingesetzt, auf Gebäudeebene werden Wärmepumpen oder Elektroheizungen im Bereich mehrerer kW eingesetzt. Dezentrale Anlagen, z. B. elektrische Heizungen von Vaillant (Vaillant 2020) Zentrale Anlagen z. B. von den Stadtwerken Neumünster (SW Neumuenster 2020). Der Flächenbedarf von zentralen Anlagen kann noch unter den oben dargestellten Bereich liegen.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Power to Heat-Anlagen können elektrische Energie entweder direkt, beispielsweise mithilfe elektrischer Widerstandsheizungen, oder indirekt, mithilfe von Wärmepumpen, in nutzbare Wärme umwandeln. Beide Varianten eröffnen in Kombination mit einem Wärmespeicher Potenziale, überschüssigen erneuerbaren Strom zu speichern (Sterner und Stadler 2017). PtH-Anlagen können durch die Bereitstellung negativer Regelenergie (Sekundär- und Minutenleistung) zur Steigerung der Stabilität elektrischer Netze beitragen. Die Bereitstellung solcher Regelenergie wird vergütet, was den wirtschaftlichen Betrieb von PtH-Anlagen ermöglichen kann. Weiterhin kann durch die Stromentnahme zu bestimmten Zeiten Must-run-Kapazität (konventionelle Kraftwerke müssen für den sicheren Netzbetrieb mit einer Mindestkapazität am Netz sein (AEE 2020)) konventioneller Kraftwerke gesenkt werden, wodurch wiederum der Anteil erneuerbarer Energien gesteigert werden kann (Agora Energiewende 2014). Im Fall von regionalen Netzengpässen oder negativen Preisen an der Strombörse werden Anlagen erneuerbarer Energien abgeregelt. PtH-Anlagen können bei Netzengpässen und in Situationen negativer Strompreise den Strom aus erneuerbaren Energien aufnehmen. Durch den Angebotsüberschuss kann Wärme kostengünstig produziert werden. Zurzeit sind diese Anwendungsfälle aufgrund gesetzlicher Regelungen nicht wirtschaftlich (Agora Energiewende 2014).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

In der Quartiersplanung kommen zwei PtH-Technologien zum Einsatz. Direkte Umwandlung über elektrische Heizwiderstände oder indirekt über elektrische Wärmepumpen (Eller 2015).

Gebäudeebene: Um das Potential zur Lastverschiebung der Anlagen im niedrigeren Leistungsbereich zu erhöhen, ist eine Zusammenschaltung der Anlagen nötig. Beispielsweise können Wärmepumpen oder Elektroheizungen durch ein Smart Grid verbunden werden (vgl. Steckbrief Smart Grid). Betreiber von Photovoltaik-Anlagen können mit einem sogenannten Photovoltaik-Heizstab ihren Eigenverbrauch optimieren. Bei Stromüberschuss wird das Heizungswasser durch den Heizstab direkt elektrisch erwärmt (Greenhouse Media 2019).

Quartiersebene: Auf Quartiersebene speisen Elektrodenheizkessel oder Großwärmepumpen das erwärmte Wasser in ein angrenzendes Wärmenetz oder -speicher ein. Die Anlagen besitzen Leistungen von mehreren MW und können direkt für die Teilnahme am Regelenergiemarkt eingesetzt werden.

Systemskizze

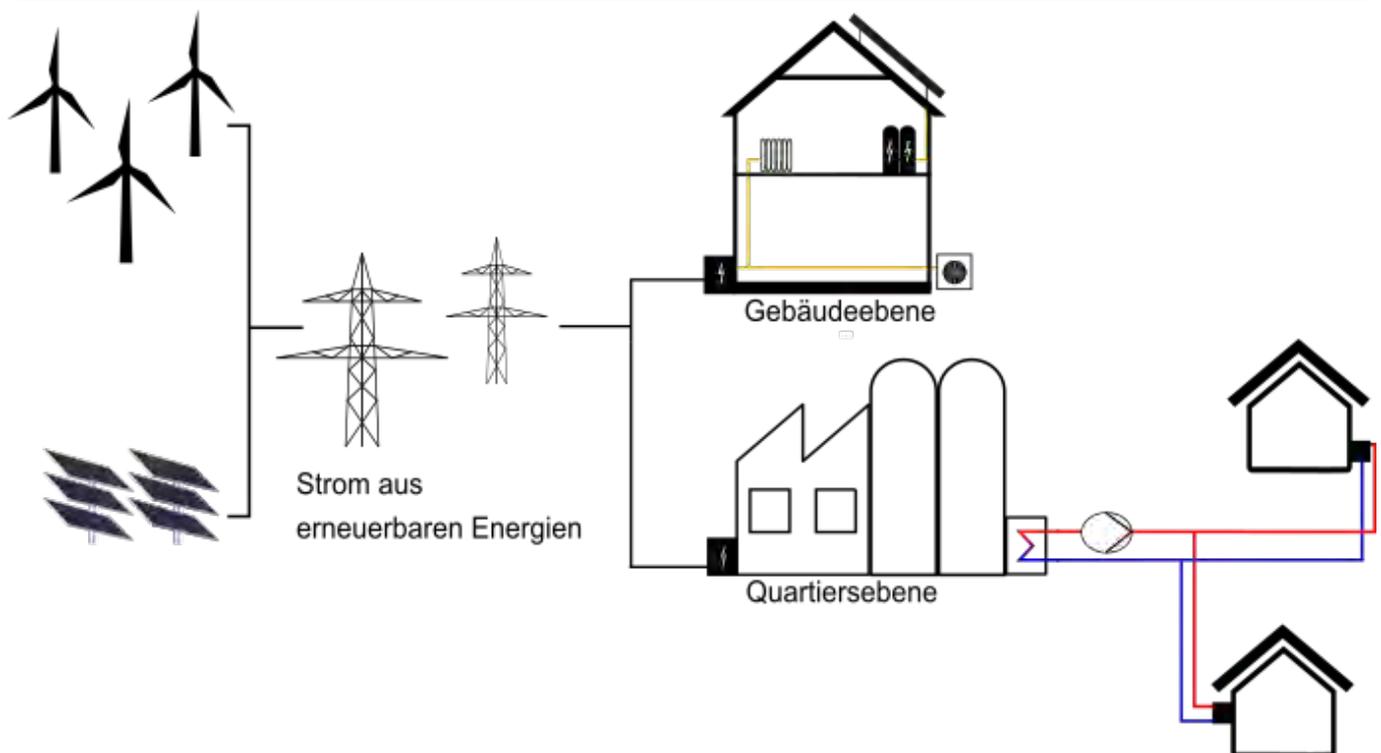


Abb. 2: Umsetzung von Power-to-Heat-Maßnahmen auf Gebäude- und Quartiersebene.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Power-to-Heat ist eine vom Rechtsbestand nicht ausreichend adressierte Technologie (Doderer, Steffensen und Schäfer-Stradowsky 2018). Förderungen für Komponenten von Power-to-Heat-Anlagen existieren, beispielsweise für Wärmespeicher (vgl. Steckbrief Wärmespeicher) oder für Wärmepumpen (vgl. Steckbrief Wärmepumpen).

Norm/Regelwerk	Titel
VDI 4635	Richtlinie für Power-to-X-Technologien. In dem Regelwerk werden die Planung und Auslegung von Anlagen thematisiert. Als mögliches Erscheinungsdatum nennt der VDI Februar 2022.

Aufwand und Kosten

Eine Power-To-Heat-Anlage muss einmal im Jahr für zwei Tage gewartet werden (Getec-Energyservices 2020). Der Wartungsaufwand von Nachtspeicherheizungen ist gering, aber durch die hohen Strompreise ist eine Investition nicht rentabel (Koth 2020). Die Aufwendungen für Wärmepumpen sind im entsprechenden Steckbrief zu finden.

Investitionskosten			Betriebskosten		
	€/kW	€/kW	€/kW		€/kW
min	100	125	200	min	1
max	300	350	500	max	15
üblich				üblich	

Hinweis:

Die Investitionskosten unterscheiden sich für Fernwärmebereich, Industriebereich oder Nachtspeicherheizungen (Agora Energiewende 2014, Kloth 2020, Vaillant 2020). Die Kosten sind unter anderem davon abhängig, ob beispielsweise ein Elektroheizkessel in ein bestehendes Gebäude eingebaut werden kann oder ein neues Gebäude errichtet werden muss. Die jährlichen Betriebskosten von PtH-Anlagen liegen zwischen 1 - 3 % der Investitionskosten (Getec-Energyservices 2020, Eller 2015).

Weitergehende Hinweise

*Die Daten beziehen sich auf eine Elektroheizung, der Strom stammt aus einem Kraftwerks-Mix (Quelle: GEMIS-Datenbank).

Parameter	Wert
Amortisationszeit	3 - 5 Jahre (Getec-Energyservices 2020)
Do's	Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien
Hersteller zentrale PtH-Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftanlagen München GmbH • G+E GETEC Holding GmbH • Vattenfall GmbH
Hersteller dezentrale PtH-Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Stiebel Eltron • Vaillant
*Kum. Energieverbrauch	2,61 kWh/kWh

*CO ₂ -Äquivalent	575,59 g/kWh
*Prozesskosten	0,15 €/kWh

Ökobilanzielle Bewertung

Hängt sehr stark von den CO₂-Emissionen des zu bewertenden Energiemixes ab, wenn allerdings lediglich Überschussstrom aus erneuerbaren Energien eingesetzt wird um Wärme zu erzeugen kann man von einer Reduktion von fossil genutzter Heizenergie kommen, was CO₂-Emissionen erniedrigen kann (Pieper et al., 2015). Eine umfassende ökobilanzielle Bewertung dieser Technologie steht noch aus.

Literaturstellen

Pieper, C., Sykora, N., Beckmann, M., Böhning, D., Hack, N., Bachmann, T., 2015. Die wirtschaftliche Nutzung von Power-to-Heat-Anlagen im Regelenergiemarkt. Chemie-Ingenieur-Technik.

Kombinationsmöglichkeiten

[Smart Grids](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Wärmespeicher](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Demand Response](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Bewässerung](#)

[Demand Response](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Gas](#)

[Power-to-Heat](#)

[Power-to-Mobility](#)

[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Stromüberschuss aus erneuerbaren Energien wird genutzt

Nachteile

Schlechte Energie- und CO₂-Bilanz, wenn der Strom aus fossilen Energieträgern stammt

Erlöse durch Regenergievermarktung	Teure Wärmeproduktion im Vergleich zur Nutzung konventioneller Energieträger
Hoher Wirkungsgrad bei Wandlung von Strom in Wärme	
Stabilisierung der Stromversorgung	
Einbindung in bestehende Wärmenetze	
Reduktion von CO ₂ -Emissionen	

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
Hochtemperaturspeicher von Lumenion	Berlin	Deutschland	In einem Projekt von Lumenion wird Überschussstrom aus EE-Anlagen im Speichermedium Stahl gespeichert. Der überschüssige Strom wird zu niedrigen Preisen eingekauft. Die Erzeugungsspitzen werden geglättet. Die umgewandelte Wärme steht den Verbrauchern in Berlin zur Verfügung. Besteht kein Wärmebedarf, kann die Energie über eine Dampfturbine zu einem späteren Zeitpunkt wieder in Strom umgewandelt werden (Lumenion 2020).
Stadtwerke	Münster	Deutschland	Ein Elektrodenkessel der Stadtwerke Münster wandelt überschüssigen Windstrom in Wärme um. Die Anlage hat eine Leistung von 22 MW. Das Kesselwasser wird durch die stromdurchflossenen Elektroden erwärmt und in einen Wärmespeicher geleitet. Der Wärmespeicher ist an das Fernwärmenetz der Stadt angeschlossen. Die bereitgestellte Sekundärregelleistung wird vergütet und macht die Investition so wirtschaftlich sinnvoll (Crome 2020).

Smart-Operator	Schwabmünchen	Deutschland	Das Smart-Operator-Projekt verbindet 110 Haushalte in einem Gesamtsystem. Der Smart-Operator des Quartiers ist die zentrale Steuerung. Anhand von Wetterprognosen werden die zu erwartenden Einspeisungen sowie Lasten, Aufnahmefähigkeit und Speichermöglichkeiten im Stromnetz ermittelt. Auf Grundlage dessen kann der Smart-Operator z. B. Wärmepumpen direkt ansteuern um die Lasten in Zeiten hoher PV-Einspeisung zu verschieben. Das Netz nimmt so mehr Strom aus erneuerbaren Energien auf und der Strombezug wird vermindert (Bundesverband Wärmepumpe 2016).
----------------	---------------	-------------	---

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Power-to-Mobility

KURZINFORMATION

Elektrofahrzeuge (E-Fahrzeuge) können zu Stillstandzeiten effizient als Speichersystem genutzt werden. Die Fahrzeuge können so für Demand Response Maßnahmen eingesetzt werden und steigern den Verbrauch lokal produzierter Elektrizität.

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Ladesäule für Elektrofahrzeuge (Bildquelle: AKrebs60).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

- | | | |
|------------------|---|--|
| Wasser | <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| | <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| | <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| | <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |
| Baustoffe | <input type="checkbox"/> Vermeidung | <input type="checkbox"/> Wiederverwendung |

	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input checked="" type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene Gebäude Grundstück Quartier**Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand**

k.A. m ² /EW	Min:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
23 - 30 m ² /Ladesäule	Max:	k.A.	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich:	10	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Auf Gebäudeebene und Grundstücksebene befinden sich die Stellplätze im privaten (Ein- oder Mehrfamilienhaus) oder halbprivaten (z. B. Arbeitgeber) Raum. Auf Quartiersebene werden Ladesäulen an öffentlichen (z. B. Straßenrand) oder halböffentlichen (z. B. Supermarkt) Parkplätzen errichtet (DKE 2013).

Der Flächenbedarf beschränkt sich auf die Ladesäulen. Pro Ladesäule sind zwei Parkplätze üblich. Werden bereits vorhandene Parkplätze genutzt, ist der zusätzliche Flächenbedarf gering. Ladesäulen sollten allerdings in der Nähe der Stromverteilung installiert werden, um die Leitungslängen zu minimieren (Schatzinger und Rose 2012).

Die Nutzungsdauer bezieht sich auf Ladestationen. Intelligente Ladestationen sind bereits am Markt erhältlich.

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Intelligente Ladeboxen und Batteriemanagementsysteme ermöglichen neue Anwendungsfelder

für die Elektromobilität. Beispielsweise können die Elektrofahrzeuge in ein Haussystem integriert werden. In Standphasen wird durch eine Software der Ladevorgang nicht bei sofortigem Ladeanschluss gestartet (Achaz und Julius von Arnim 2020). Menge und Zeitpunkt der Ein- bzw. Ausspeisung hängt von Angebot und Nachfrage ab. An wind- und sonnenreichen Tagen übersteigt das Angebot die Nachfrage und die Elektrofahrzeuge werden aufgeladen. Zu Zeiten hoher Nachfrage können die Elektrofahrzeuge die aufgenommene Energie ins Netz einspeisen (Swantje Gähns et al. 2015). Durch diese Lastverschiebung wird die Netzstabilität gewährt und das Fahrzeug kann mit überschüssigem Strom aus Photovoltaik-Anlagen oder vergünstigtem Nachstrom geladen werden. Die Nutzung des lokal erzeugten Stroms steigt und die Antriebskosten sinken durch variable Stromtarife (siehe Steckbrief Demand Response) (Achaz und Julius von Arnim 2020, dena 2019).

Auf Quartiersebene können intelligente Ladestationen beispielsweise an öffentlichen Plätzen errichtet werden. Steigt der Nutzungsgrad im Quartier, müssen weniger konventionelle Kraftwerke zu Spitzenlastzeiten eingesetzt werden, die CO₂-Emissionen sinken. Außerdem steigt die Effizienz, da durch die kurzen Wege die Übertragungsverluste sinken.

Eine Alternative zu den Elektrofahrzeugen sind die Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge (Töpler und Lehmann 2017). An wind- und sonnenreichen Tagen kann beispielsweise überschüssig erzeugter Strom von regenerativen Stromerzeugungsanlagen für die Elektrolyse aufgewendet werden und in Form von Wasserstoff gespeichert werden. Der gespeicherte Wasserstoff kann anschließend von den Brennstoffzellenfahrzeugen getankt werden (vgl. Steckbrief Power-to-Gas).

Systemskizze

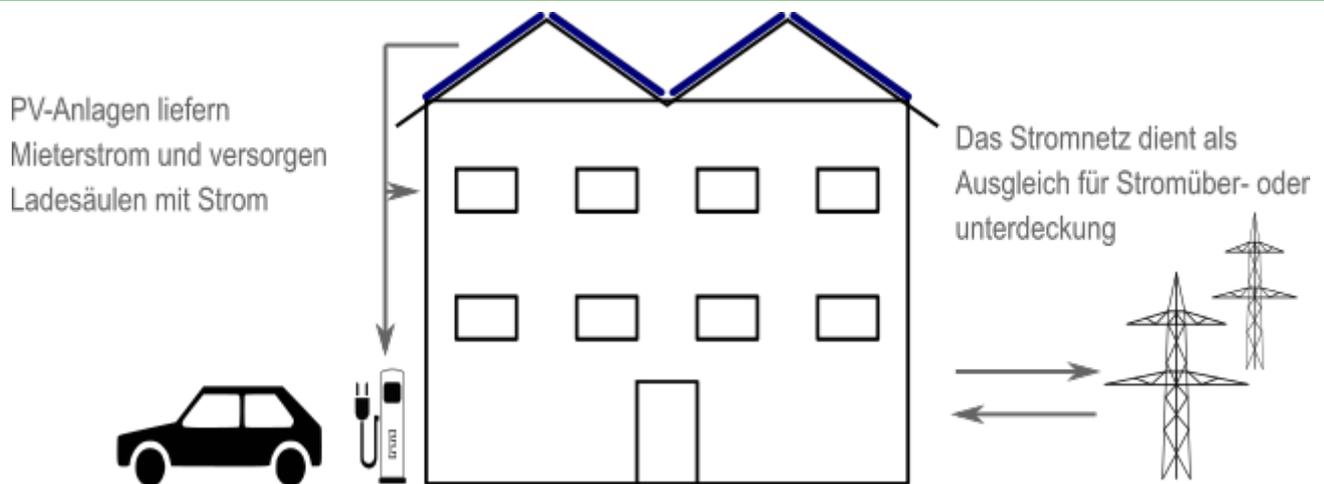


Abb. 2: Elektromobilitätskonzept für ein Mehrfamilienhaus.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Zinsgünstige Kredite können bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau oder bei den entsprechenden Länderinstitutionen beantragt werden.

Außerdem gibt es je nach Bundesland weitere Fördermaßnahmen. Die Landesregierung von Nordrhein-Westfalen plant mit dem Förderprogramm *progres.nrw* ein flächendeckendes und nutzerfreundliches Netz an Ladeinfrastruktur zu installieren. Werden Elektro-Fahrzeuge für Demand

Response Maßnahmen eingesetzt, müssen Netzbetreiber die Regelleistung vergüten (vgl. Steckbrief Demand Response).

Norm/Regelwerk	Titel
Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)	Nach §14a EnWG bieten Netzbetreiber vergünstigte Netzentgelte für Ladestationen an, wenn diese als steuerbare Verbrauchseinrichtung angemeldet werden.
DIN 18015-1	Elektrische Anlagen im Wohngebäude – Nach der Norm sollen Vorrichtungen für die Anbindung an Smart Grids vorgesehen werden (VDE 2020)
DINEN61851-1 (VDE0122-1)	Norm zu den Ladebetriebsarten
DIN VDE 0100-722	Errichten von Niederspannungsanlagen – Auslegung der Stromnetze im Gebäude
VDE-AR-N 4100	Technische Anschlussregeln Niederspannung – Anmeldung von Ladeeinrichtungen beim örtlichen Netzbetreiber
ISO 15118	Norm zu Vehicle-to-Grid-Kommunikationsschnittstellen für Ladestation
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	Das BMWi hat die Förderrichtlinie „Elektromobilität vor Ort“ erstellt. Ein Investitionszuschuss auf Grundlage der jeweiligen Investitionsmehrkosten für Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur wird gewährt.
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrollen (BAFA)	Das BAFA gewährt einen Umweltbonus von bis zu 4 000 Euro pro Elektrofahrzeug.

Aufwand und Kosten

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/Ladesäule		€/a*Anschluss
min	800	min	
max	2 300	max	
üblich		üblich	59

Hinweis:

Die Mehrkosten bei gesteuertem Laden von Elektrofahrzeugen sind vor allem auf die Informations- und Kommunikationstechnologie zurückzuführen und liegen bei 300 €/Ladesäule (ffe 2016).

Die Betriebskosten bei gesteuertem Laden von Elektrofahrzeugen sind ebenfalls auf die Informations- und Kommunikationstechnologie zurückzuführen (ffe 2016).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	<p>Nach (Schatzinger und Rose 2012):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auf die CE-Kennzeichnung von Ladesäulen achten • Straßenrechtliche Vorgaben im öffentlichen Raum beachten • Wahl der richtigen Ladebetriebsart und Stecker (z. B. Mode 3 mit Stecker Typ 2) • Geeignete Abrechnungsfunktion (z. B. Blockchain-Technologie) • Vernetzung von Ladestationen • Spitzenlast beachten
Hersteller	<ul style="list-style-type: none"> • ABB • ABL • Alfen • IES Synergy • Innogy • KEBA • Webasto

Ökobilanzielle Bewertung

Für die Technologie Power-to-Mobility ist die Ökobilanz intelligenter Ladesäulen und intelligenter Wallboxen relevant. Zurzeit sind uns keine vergleichenden Ökobilanzen von intelligenten mit herkömmlichen Ladesystemen bekannt, sodass hier keine Aussage getroffen werden kann. Durch die intelligente Steuerung kann das Ladesystem die E-Autos vermehrt laden, wenn der Strom aus erneuerbaren Quellen kommt, was zu einer Reduktion von Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffen beitragen kann.

Kombinationsmöglichkeiten

[Blockheizkraftwerke](#)

[Smart Grids](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Photovoltaikanlagen](#)

[Demand Response](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Power-to-Gas](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Semizentrale Abwasserwärmenutzung](#)

[Anergienetze \(auch: kalte Nahwärme\)](#)

[Bewässerung](#)

[Demand Response](#)[Power-to-Gas](#)[Power-to-Gas](#)[Power-to-Heat](#)[Power-to-Mobility](#)[Batteriespeicher](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Förderungen durch den Staat

Autos stehen im Schnitt 23 h am Tag und könnten in dieser Zeit Primärregelleistung bereitstellen, die vergütet werden könnte (Rother und Kuhn 2018)

Durch ein intelligentes Lademanagement werden weniger Autos gleichzeitig geladen. Der Vorteil ist, dass nicht neue, leistungsstärkere Kupferkabel verlegt werden müssen (Rother und Kuhn 2018)

Kosteneinsparungen durch günstigen Nachtstrom

Eigenverbrauchsoptimierung der Photovoltaik-Anlage

Beitrag zum Erreichen der Klimaziele, Senkung der CO₂-Emissionen

Stabilisierung der fluktuierenden Netze durch regenerative Energiequellen

Nachteile

Fahrzeuge müssen für den Vehicle-to-Grid (V2G)-Gebrauch zertifiziert werden, der Markt für V2G-Ladegeräte ist noch klein, noch keine Vergütung der Primärregelleistung

Im Falle des Lastmanagements kann es zum ständigen Be- und Entladen kommen wodurch die Lebensdauer der Batterie sinkt.

Fallbeispiele

Projektname

Stadt

Land

Erläuterung

Share & Charge,
Innogy und
slock.it

In dem Projekt erfolgt die Abrechnung des bezogenen Stroms blockchain-basiert (siehe Steckbrief Lokaler Energiemarkt). Außerdem wird den Teilnehmern ermöglicht, ihre privaten Ladestationen anderen E-Autofahrern zur Verfügung zu stellen. Vorteile sind eine automatisierte, detaillierte Abrechnung und eine Kostenreduktion für die Anbieter (BDEW 2017).

Smart Fossil Free Island	Porto Santo	Portugal	E-Fahrzeuge sollen zu Spitzenlastzeiten Strom ins Netz speisen und die fluktuierende Einspeisung erneuerbarer Energien speichern. Die E-Fahrzeuge werden intelligent in das Stromnetz integriert, sodass sie uni- als auch bidirektional gesteuert werden können (Enkhardt 2019).
Winner	Chemnitz	Deutschland	Im Projekt Winner wurden Photovoltaik (PV) - Anlagen auf Mehrfamilienhäusern installiert. Über ein Mieterstrom-Modell werden die Vermieter mit günstigem Strom versorgt. Außerdem wurden vor den Gebäuden Ladesäulen für Elektrofahrzeuge errichtet, die mit Strom aus den PV-Anlagen versorgt werden. Für die Mietergemeinschaft wurde ein Car-Sharing-Modell entwickelt. Wochentags können wohnungswirtschaftliche Dienstleister und Handwerker die Autos nutzen, am Abend oder am Wochenende können die Autos durch die Mieter verwendet werden. Die Verfügbarkeit der Autos wird über eine App gesteuert. In Standphasen werden die Elektrofahrzeuge als flexible Speicher eingesetzt und sorgen für eine effiziente Nutzung vor Ort (Winner 2020).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

Batteriespeicher

KURZINFORMATION

Batteriespeicher können elektrische Energie durch Umwandlung in chemische Energie speichern. So kann im Quartier überschüssig produzierte Elektrizität gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden. Die Speicherkapazität reicht von wenigen kWh in Heimspeichern bis hin zu mehreren MWh in Batterieparks (Paschotta 2019).

Umsetzungsbeispiel



Abb. 1: Eine Batteriebank für eine unterbrechungsfreie Energieversorgung (Bildquelle: Jelson25). Batteriespeicher für eine Heim-Photovoltaikanlage (Bildquelle: Asumipal).

Ressource

- Niederschlagswasser
 Schmutzwasser
 Baustoffe
 Energie
 Fläche

Funktion

Wasser

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Förderung Verdunstung | <input type="checkbox"/> Förderung Grundwasserneubildung |
| <input type="checkbox"/> Förderung Behandlung | <input type="checkbox"/> Trinkwassereinsparung |
| <input type="checkbox"/> Nährstoffrückgewinnung | <input type="checkbox"/> Überflutungsvorsorge |
| <input type="checkbox"/> Minderung Abfluss | <input type="checkbox"/> Sammlung und Ableitung |

Baustoffe	<input type="checkbox"/> Vermeidung	<input type="checkbox"/> Wiederverwendung
	<input type="checkbox"/> Verwertung	<input type="checkbox"/> Beseitigung
	<input type="checkbox"/> Recycling	
Energie	<input type="checkbox"/> Energiebereitstellung	<input type="checkbox"/> Energieverteilung
	<input type="checkbox"/> Energieverbrauch	<input checked="" type="checkbox"/> Energiespeicherung
	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrizität	<input type="checkbox"/> Wärme
	<input type="checkbox"/> Brennstoffe	
Fläche	<input type="checkbox"/> Klimaanpassung	<input type="checkbox"/> Gesundheitsschutz
	<input type="checkbox"/> Erhalt d. Grunddaseinsfunktion	<input type="checkbox"/> Naturschutz
	<input type="checkbox"/> Klimaschutz	

Legende:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> kein Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> Wirkpotential vorhanden | <input checked="" type="checkbox"/> geringes Wirkpotential |
| <input checked="" type="checkbox"/> mittleres Wirkpotential | <input checked="" type="checkbox"/> hohes Wirkpotential | |

Anwendungsebene

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Gebäude | <input type="checkbox"/> Grundstück | <input checked="" type="checkbox"/> Quartier |
|---|-------------------------------------|--|

Flächenbedarf | Nutzungsdauer(Jahre) | Entwicklungsstand

k.A. m ² /EW	Min: 10	<input type="checkbox"/> Stand der Wissenschaft und Technik
0,08 - 0,2 m ² /kWh	Max: 30	<input type="checkbox"/> Stand der Technik
	Üblich: 20	<input checked="" type="checkbox"/> Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Hinweis:

Abhängig von der Leistung werden zwischen 1 m² (KEAN 2019) (Hausbatteriespeicher, etwa 0,2 m²/kWh) und 10.000 m² (Tesla 2017) (Batteriepark, etwa 0,08 m²/kWh) Fläche benötigt. Die Nutzungsdauer liegt zwischen 5.000 - 15.000 Ladezyklen, abhängig von der Technologie. Ein durchschnittlicher Haushalt erreicht im Jahr rund 250 Ladezyklen (Verbraucherzentrale NRW 2019).

DETAILINFORMATIONEN**Funktionsbeschreibung und Aufbau**

Innerhalb eines Speicherzyklus durchläuft ein Batteriespeicher die Prozesse der Einspeicherung, Speicherung und Ausspeicherung. Bei einem vollständigen Speicherzyklus entstehen dabei Prozessverluste von etwa 2 - 10 % (e3dc 2020). Ein Batteriespeicher setzt sich aus mehreren „Packs“ zusammen, welche wiederum aus mehreren Batteriezellen bestehen. Jede Zelle besteht aus einem galvanischen Element und einem Gehäuse. Weitere Bestandteile des Systems sind das Batteriemanagementsystem und die Steuerung zur Ein- und Ausspeicherung (Kurzweil und

Dietlmeier 2018).

Die dezentrale, wetterabhängige Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen unterliegt Schwankungen. Stromspeicher im Quartier können die Schwankungen abfangen und den Nutzungsgrad im Quartier erhöhen. Anlagen müssen nicht abgeschaltet werden und es muss weniger Strom aus dem Netz bezogen werden. Auch für die Stabilität des Stromnetzes sind die Speicher essenziell. Strategisch an bestimmten Netzpunkten platziert können Stromspeicher zur Erhaltung der Netzfrequenz beitragen und durch intelligentes Lastmanagement den weiteren Zubau von erneuerbaren Energieanlagen begünstigen (BMW 2019).

Konkrete Maßnahmen in der Quartiersplanung

Dezentrale Batteriespeicher

Dezentrale Batteriespeicher (Heimspeicher) oder Batteriespeicher in Elektrofahrzeugen können in Kombination mit einer Photovoltaik-Anlage eingesetzt werden. Dadurch lässt sich der Eigenverbrauchsanteil im Gebäude erhöhen. Eine intelligente Steuerung durch ein Energiemanagementsystem stimmt Erzeugung und Verbrauch aufeinander ab. Unterschiedliche Fahrweisen können zur Entlastung des Stromnetzes oder zur Energiekostenoptimierung genutzt werden. Heimspeicher werden mit Kapazitäten von bis zu 20 kWh eingesetzt (dena 2019).

Zentrale Batteriespeicher

Zentrale Batteriespeicher (Batteriepark) haben Kapazitäten von mehreren hundert kWh. Sie können beispielsweise zur Vermeidung von Lastspitzen eingesetzt werden, wodurch niedrigere Netznutzungsentgelte entstehen. Werden die Speicher zu virtuellen Kraftwerken zusammengeschaltet, können Erlöse aus Primär- oder Sekundärregelenergie generiert werden. Weiterhin können zentrale Speicher von niedrigen Strompreisen an der Börse profitieren. Bei günstigen Preisen wird der Strom eingespeichert und in Hochpreiszeiten ausgespeichert (dena2019).

Systemskizze

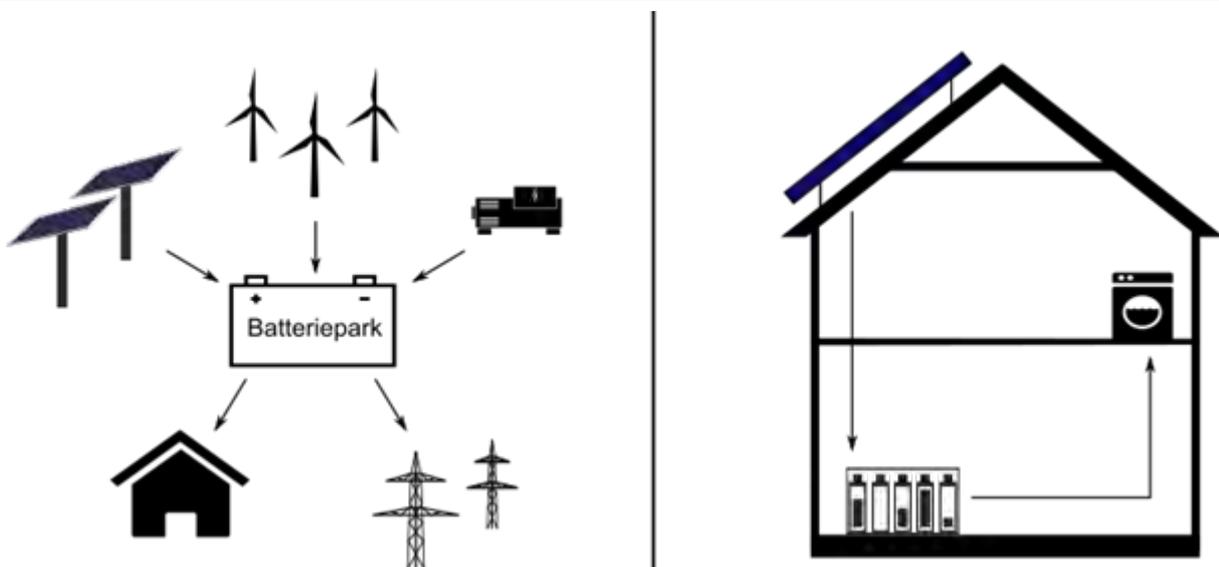


Abb. 2: Links: Zentraler Batteriespeicher, rechts: Dezentraler Batteriespeicher.

Planung, Bemessung und rechtliche Aspekte

Norm/Regelwerk	Titel
VDI 4657 Blatt 3	Leitfaden zur Planung und Einbindung von Stromspeichern im Gebäude (Erscheinung 2022).
Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	Die KfW bietet ein Speicherförderprogramm an. Die Förderung erfolgt für eine individuelle Anlage durch einen zinsgünstigen Kredit der KfW-Bank und einen durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanzierten Tilgungszuschuss (RWTH Aachen 2018).
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	Stromzwischenpeicher werden durch das EEG gefördert, um das Stromangebot flexibel der Stromnachfrage anzupassen. Wird der Strom aus einer erneuerbaren Energie-Anlagen zwischengespeichert und anschließend ins Netz eingespeist, gibt es Förderzahlungen für die eingespeiste Strommenge (Bundesnetzagentur 2019).
Land NRW	Das Land NRW bezuschusst im Rahmen des Programms progres.nrw „Markteinführung“ Batteriespeicher in Verbindung mit einer neuen PV-Anlage (max. 10 Prozent der förderfähigen Kosten bzw. max. 75.000 Euro) (Verbraucherzentrale NRW 2020).

Aufwand und Kosten

Der Preis für Lithium-Ionen-Zellen fiel von 2007 bis 2016 um 60 Prozent. Hausbatteriespeicher sind wartungsarm, sollten aber alle zwei bis drei Jahre durch Fachpersonal gewartet werden.

Investitionskosten

Betriebskosten

	€/kWh		€/kWh*a
min	800	min	12
max	1400	max	21
üblich		üblich	

Hinweis:

Die Betriebskosten werden mit 1,5 % der Investitionskosten angesetzt. Die angegebenen Werte beziehen sich auf eine kWh Speicherkapazität, nicht auf die umgesetzte Energiemenge (Sternier und Stadler 2017).

Weitergehende Hinweise

Parameter	Wert
Do's	<ul style="list-style-type: none"> • 1.000/1/1-Formel für Hausbatteriespeicher – pro 1.000 kWh Stromverbrauch mindestens 1 kW Leistung und höchstens 1 kWh Speicherkapazität (Verbraucherzentrale NRW 2019). • Stromspeicher im Marktstammdatenregister registrieren. • Betrieb von Batteriespeichern müssen bei der Versicherung angezeigt werden • Netz- und systemdienliche Betriebsweise, sodass das Potential zur Integration erneuerbarer Energien genutzt werden kann, eine Maximierung des Eigenverbrauchs kann zu hohen Einspeisespitzen führen, Nutzung einer intelligenten Steuerung durch Energiemanagementsystem
Don'ts	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Speicher ohne Stromquelle erwerben • Der Aufstellort sollte eine maximale Temperatur von 25 °C nicht überschreiten
Hersteller Hausbatteriespeicher (RWTH Aachen 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Sonnen • E3/DC GmbH • LG Chem. Ltd. • Deutsche Energieversorgung GmbH • SMA Solar Technology AG
Hersteller Quartierspeicher	<ul style="list-style-type: none"> • ABB (Speicherkapazität bis 2 500 kWh) • Ads-tec (Speicherkapazität bis 320 kWh)
Hersteller Batterieparks	<ul style="list-style-type: none"> • Siemens • Tesla
Varianten	<ul style="list-style-type: none"> • Lithium-Ionen-Batterien • Blei-Säure-Batterien • Redox-Flow-Batterien • Natrium-Schwefel-Hochtemperatur-Batterien
CO ₂ -Fußabdruck	<ul style="list-style-type: none"> • 100 000 – 300 000 g/kWh Speicherkapazität (Baumann et al. 2017)

Ökobilanzielle Bewertung

Die ökobilanzielle Performance eines Batteriespeichers hat Vor- und Nachteile im Vergleich zu fossilen Energieträgern. Chowdhury et al. (2020) kommen zu dem Ergebnis, dass wenn Batteriespeicher den Strom von erneuerbaren Energieträgern speichern, es eine signifikante Einsparung von CO₂-Emissionen im Vergleich zu Gasnetzen geben kann. Allerdings erhöhen Batteriespeicher die Umweltauswirkungen in anderen Wirkungskategorien und zwar Eutrophierung von Frisch- und Meeren als auch toxische Emissionen.

Literaturstellen

Chowdhury, J.I., Balta-Ozkan, N., Goglio, P., Hu, Y., Varga, L., McCabe, L., 2020. Techno-environmental analysis of battery storage for grid level energy services. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110018>

Kombinationsmöglichkeiten

[Photovoltaikanlagen](#)

[Blockheizkraftwerke](#)

[Smart Grids](#)

[Bauteilbörsen](#)

[Ressourcenschonende Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen](#)

[Lokale Energiemärkte](#)

[Kleinstwasserkraftanlagen](#)

[Mieterstrommodelle](#)

[Kleinwindkraftanlagen](#)

[Energetische Gebäudesanierung](#)

[Power-to-Mobility](#)

Vor- und Nachteile

Vorteile

Unabhängigkeit für den Verbraucher

Vermeidung volatiler Einspeisung erneuerbarer Energien

Investitionsförderung möglich

Steigerung des Nutzungsgrades lokal produzierter Elektrizität

Entlastung des Stromnetzes

Nachteile

Kritische Umweltverträglichkeit der Bestandteile (z.B. Lithium)

Hohe Investitionskosten

Ein Austausch zwischen Nachbarn kann sinnvoller sein, da Batteriespeicherverluste höher sein können als Netzverluste

Fallbeispiele

Projektname	Stadt	Land	Erläuterung
GrowSmarter	Köln	Deutschland	Die Kölner Stegwaldsiedlung mit rund 1 400 Wohneinheiten ist Testgebiet des europäischen Verbundprojekts GrowSmarter. Auf den Dächern von Mehrfamilienhäusern werden Photovoltaik-Anlagen errichtet. Mieter können den Strom als Mieterstrom beziehen. Nicht genutzter PV-Strom wird in Batterien zwischengespeichert (dena 2019).
3E Mehrfamilienhaus		Deutschland	Der Kern des Projekts ist die smarte Verknüpfung von Eigenerzeugung, Eigenverbrauch und Elektromobilität in Mehrfamilienhäusern. Über PV-Anlagen sowie Mini-Blockheizkraftwerken werden stationäre Batteriespeicher und Batterien von Elektrofahrzeugen als Puffer eingesetzt, um den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen. Es wurde ein durchschnittlicher Autarkiegrad von 74 Prozent erreicht. Die optimale Nutzung des lokalen Betriebssystems senkt die Kosten für Bewohner und fördert die Etablierung der Elektromobilität (dena 2019).
Strombank	Mannheim	Deutschland	Der Batteriesystemhersteller ads-tech hat zusammen mit den Mannheimer Stadtwerken MVV das Konzept „Strombank“ entwickelt. Hier sind mehrere Lithium-Batterien in einem Container untergebracht, die überschüssige Energie aus der dezentralen Erzeugung aus Photovoltaik und Blockheizkraftwerken aufnehmen (Sternier und Stadler 2017).

Literaturverweise und Bild-Nutzungsrechte können im Webtool oder der Gesamtpublikation der Steckbriefe entnommen werden. Sie sind unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> zu finden.

VI. Anhang

Literaturverzeichnis

- 2G Energy AG (2020): „Avus 500 plus“. Abgerufen von <https://2-g.com/de/produkte/avus>.
- Ackermann, K. (2010): „*Brauchwasser (Grauwasser) - Recycling mit ingenieurökologischen und technischen Verfahren in Europa und Entwicklungsländern*“. (Projektarbeit) Wiesbaden: Hochschule RheinMain.
- AEE (2020): „*Must-run-Kapazität*“. Abgerufen 21.04.2020 von <https://www.unendlich-viel-energie.de/glossar?letter=M>.
- AEG (2020): „*Wärmespeicher*“. Abgerufen 20.04.2020 von <https://www.aeg-haustech-nik.de/de/home/produkte-loesungen/raumheizgeraete/waermespeicher.html>.
- Agora Energiewende (2014): „*Power-to-Heat*“. Abgerufen 03.09.2020 von https://www.agora-energie-wende.de/fileadmin2/Projekte/2013/power-to-heat/Agora_PtH_Langfassung_WEB.pdf.
- Aichele, C., Doleski, O.D. (Hrsg.) (2014): *Smart Market*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden doi: [10.1007/978-3-658-02778-0](https://doi.org/10.1007/978-3-658-02778-0).
- Alp, Ö. (2010): „*Further treatment of digested blackwater for extraction of valuable components*“. (Dissertation) Hamburg: Gesellschaft zur Förderung und Entwicklung der Umwelttechnologien an der Technischen Universität Hamburg-Harburg.
- Annemarie Bähge, Anna Probst (2018): „*Windkraftenergie in der Stadt. Perspektiven für den urbanen Raum*“. TU Berlin. Abgerufen 08.05.2020 von https://www.klima.tu-berlin.de/insulaner/sites/default/files/2018-08/A1_Bähge_Probst_11_08_2230.pdf.
- Arnim, A. von, Arnim, J. von, Doleski, O.D. (2020): *Realisierung Utility 4.0 Band 1*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- ARTIGO GmbH (2021): „*Trockenurinale Kosten und Ökobilanz*“. Abgerufen 22.03.2021 von <https://www.culu.eu/lebenszykluskosten-und-oekobilanz-bei-trockenurinalen>.
- ASUE (2015): „*Blockheizkraftwerke*“. Abgerufen 09.04.2020 von https://asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2015/broschueren/asue_050315_bhkw_fibel.pdf.
- ASUE (2018): „*Leitfaden Klein-BHKW*“. Abgerufen von https://www.asue.de/sites/default/files/asue/themen/brennstoffzellen/2018/broschueren/ASUE_Leitfaden-Klein-BHKW_2018-02_309887.pdf.
- avacon (2020): „*Mieterstrom*“. Abgerufen 17.06.2020 von <https://www.avacon.de/de/fuer-unternehmen/waerme-und-kaelteloesungen/mieterstrom.html>.
- Aydemir, A. (2015): *Energietechnologien der Zukunft*. Springer Vieweg.
- Badenova (2013): „*badenova.de*“. Abgerufen 29.04.2020 von badenova.de.
- bafa (2019): „*Heizen mit Erneuerbaren Energien*“. Abgerufen 27.04.2020 von https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Programm_bis_2019/programm_bis_2019_node.html#doc13402384bodyText28.
- Bauer, M.J., Freeden, W., Jacobi, H., Neu, T. (Hrsg.) (2018): *Handbuch oberflächennahe Geothermie*. Berlin: Springer Spektrum.
- Baumann, M., Peters, J.F., Weil, M., Grunwald, A. (2017): „*CO 2 Footprint and Life-Cycle Costs of Electrochemical Energy Storage for Stationary Grid Applications*“. In: *Energy Technology*. 5 (7), S. 1071–1083, doi: [10.1002/ente.201600622](https://doi.org/10.1002/ente.201600622).
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2020): „*Versuchs- und Bildungszentrum für Rinderfütterung*“. Abgerufen 17.04.2020 von <https://www.lfl.bayern.de/lvz/achselschwang/055391/index.php>.
- BDEW (2017a): „*Blockchain in der Energiewirtschaft*“. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. and BDEW.
- BDEW (2017b): „*Smart Grids*“. Abgerufen 16.03.2020 von <https://www.bdew.de/energie/smart-grids/>.
- BDEW (2020): „*Strompreisanalyse*“. Abgerufen 18.06.2020 von https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf.
- BDEW (2019): *Trinkwasserverwendung im Haushalt*. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW).
- BDEW (2017c): „*Zukunft Wärmenetzsysteme*“. Abgerufen 01.03.2020 von https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20170615_Strategiepapier-Zukunft-Waermenetzsysteme.pdf.
- Behr, I., Großklos, M. (2017): *Praxishandbuch Mieterstrom*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden doi: [10.1007/978-3-658-17540-5](https://doi.org/10.1007/978-3-658-17540-5).
- Benden, J., Broesi, R., Illgen, M., Leinweber, U., Lennartz, G., Scheid, C., Schmitt, T.G. (2017): *Multi-funktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURI-RIEL*. (Arbeitshilfe).
- Berliner Wasserbetriebe (2021): „*Heizen und Kühlen mit Abwasser*“. Abgerufen 22.03.2021 von <https://www.bwb.de/de/14317.php>.

- BHKW-Forum e.V. (2020): „BHKW-Informationen“. Abgerufen 09.10.2021 von <https://www.bhkw-forum.info/bhkw-informationen/>.
- Blackhurst, M., Hendrickson, C., Matthews, H.S. (2010): „Cost-effectiveness of green roofs“. In: *Journal of Architectural Engineering*. American Society of Civil Engineers 16 (4), S. 136–143.
- Blanken, M., Verweij, C., Mulder, K. (2019): „Why Novel Sanitary Systems are Hardly Introduced?“. In: *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 7 (1), S. 13–27, doi: [10.13044/j.sdewes.d6.0214](https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0214).
- BlueGreenStreets (2022a): *BlueGreenStreets Toolbox – Teil A. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere, März 2022, Hamburg. Erstellt im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft“ (RES:Z)*. Hamburg: BlueGreenStreets.
- BlueGreenStreets (2022b): *BlueGreenStreets Toolbox – Teil B. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere, März 2022, Hamburg. Erstellt im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft“ (RES:Z)*. Hamburg: BlueGreenStreets.
- BMVBS (2009): *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) - Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).
- BMVIT (2017): *Technologiebeschreibungen Energie und Nährstoffe aus Abwasser, Anhang für den Leitfaden*. Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT).
- BMW (2019a): „Blockchain-Strategie“. Abgerufen 17.03.2020 von https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=8.
- BMW (2020a): „Bringen Sie Ihr Haus in Bestform“. Abgerufen 08.10.2021 von <https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Publikation/bringen-sie-ihr-haus-in-bestform.html>.
- BMW (2019b): „Bundesbericht Energieforschung 2019“. Abgerufen 31.03.2020 von https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bundesbericht-energieforschung-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=15.
- BMW (2015): „Energieeffizienzstrategie Gebäude - Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudezustand“. Abgerufen 24.07.2020 von https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebaeude.pdf?__blob=publicationFile&v=25.
- BMW (2020b): „Mieterstrom“. Abgerufen 10.03.2020 von <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/mieterstrom.html>.
- BMW (2020c): „Smart Meter“. Abgerufen 17.04.2020 von <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/smart-meter.html>.
- Boehler, M.A., Heisele, A., Seyfried, A., Grömping, M., Siegrist, H. (2015): „(NH₄)₂SO₄ recovery from liquid side streams“. In: *Environmental Science and Pollution Research*. 22 (10), S. 7295–7305, doi: [10.1007/s11356-014-3392-8](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3392-8).
- Böttcher, J. (2014): *Wasserkraftprojekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg doi: [10.1007/978-3-642-40112-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40112-1).
- Breitkopf, A. (2021): „Photovoltaik - Größte Hersteller weltweit nach Marktanteil 2017“. Abgerufen 08.10.2021 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164196/umfrage/marktanteile-ander-weltweiten-photovoltaikproduktion-im-jahr-2009/>.
- Brunk, M.F., Seybold, C. (2012): „Potential der dezentralen Abwasserwärmerückgewinnung“. In: *BHKS-Almanach*. S. 44–48.
- Brunk, M.F., Seybold, C., Osebold, R., Beyert, J., Vosen, G. (2013): *Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser: Abschlussbericht*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Bauforschung für die Praxis).
- Bundesnetzagentur (2019): „Hinweis EE-Stromspeicher: Registrierungspflichten, Amnestie, Förderung und Abgrenzung Version 1.1“. Abgerufen 06.01.2020 von https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Hinweispapiere/Stromspeicher.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesnetzagentur (2020a): „Hinweis zum Mieterstromzuschlag als eine Sonderform der EEG-Förderung“. Abgerufen 12.06.2020 von https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Mieterstrom/Hinweis_Mieterstrom.pdf;jsessionid=15D56E3AD7DE919C1157981458EDB85C?__blob=publicationFile&v=5.
- Bundesnetzagentur (2020b): „Mieterstrom“. Abgerufen 12.06.2020 von https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/Vertragsarten/Mieterstrom/Mieterstrom_node.html.
- Bundesnetzagentur (2011): „Smart Grid und Smart Market - Eckpunktepapier der Bundesnetzagentur“. Bonn Abgerufen von https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungSmartGrid/SmartGrid_SmartMarket/start.html.

- Bundesverband Geothermie (2019): „*Geothermie in Zahlen*“. Abgerufen 14.04.2020 von <https://www.geothermie.de/geothermie/geothermie-in-zahlen.html>.
- Bundesverband KWK (2016): „*Kraft-Wärme-Kopplung in der Wohnungswirtschaft: Technik, Wirtschaftlichkeit, Recht*“. Abgerufen 09.04.2020 von https://www.bkww.de/wp-content/uploads/2018/04/Broschuere_Wohnungswirtschaft_final-kl.pdf.
- Bundesverband Wärmepumpe (2020): „*Funktion Wärmequellen*“. Abgerufen 02.03.2020 von <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>.
- Bundesverband Wärmepumpe (2018a): „*Leitfaden Erdwärme*“. Abgerufen 11.11.2019 von https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/Leitfaden_Erdwaerme_2018_Web.pdf.
- Bundesverband Wärmepumpe (2016): „*Siedlung erprobt Lastmanagement mit Wärmepumpen*“. Abgerufen 07.01.2022 von <https://www.waermepumpe.de/presse/pressefahrten/allgaeu-2016/details/im-praxistest-siedlung-erprobt-lastmanagement-mit-waermepumpen/>.
- Bundesverband Wärmepumpe (2018b): „*Siedlungsprojekte und Quartierslösungen mit Wärmepumpen*“. Abgerufen 13.10.2021 von https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/Broschuere_Siedlungen_Novelle_2018_web.pdf.
- Bundesverband WindEnergie (2015): „*A bis Z - Fakten zur Windenergie*“. Abgerufen 29.01.2020 von https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/01-windkraft-vor-ort/bwe_abisz_3-2015_72dpi_final.pdf.
- Burger, C., Kuhlmann, A., Richard, P., Weinmann, J. (2016): „*Blockchain in der Energiewende - Eine Umfrage unter Führungskräften der deutschen Energiewirtschaft*“. dena.de. Abgerufen 16.03.2020 von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9165_Blockchain_in_der_Energiewende_deutsch.pdf.
- Buri, R., Kobel, B. (2004): *Leitfaden Wärmenutzung aus Abwasser*. (Broschüre) Zürich: Energie in Infrastrukturanlagen.
- BWP (2017): *Praxisratgeber Modernisieren mit Wärmepumpe*. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe (BWP).
- BWP (2019a): *Ratgeber Energie aus Abwasser*. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe (BWP).
- BWP (2019b): *Ratgeber Energie aus Abwasser - Heizen und Kühlen mit der Energie aus dem Untergrund - Grundlagenwissen und Praxistipps*. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe (BWP).
- Campisano, A., Gullotta, A., Modica, C. (2019): „*Preliminary results of experiments for the evaluation of on-site detention of modular blue roofs*“. In: *Novatech Lyon 2019 - Urban Water - Planning technologies for sustainable management*. Lyon.
- C.A.R.M.E.N e. V. (2020a): „*Festbrennstoffe*“. Abgerufen 16.04.2020 von <https://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/waermenetze>.
- C.A.R.M.E.N e. V. (2015): „*Kleinwindkraftanlagen*“. Abgerufen 29.01.2020 von <https://www.carmen-ev.de/files/informationen/Brosch%C3%BCren/Kleinwindkraftanlagen.pdf>.
- C.A.R.M.E.N e. V. (2020b): „*Wärmegestehungskosten Biomasseheizwerk*“. Abgerufen 16.04.2020 von <https://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/biomasseheizwerke/wirtschaftlichkeit/474-waermegestehungskosten>.
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2019): „*Kalte Wärmenetze*“. Abgerufen 12.12.2019 von <https://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/waermenetze/2033-kalte-waermenetze>.
- Civic Energy (2020): „*civic-energy.eu*“. Abgerufen 17.04.2020 von <https://www.civic-energy.eu/>.
- Clausen, J. (2012): „*Ländliche Wärmenetze*“. Abgerufen 17.04.2020 von https://www.bor-derstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Clausen-Kosten_laendliche_Waermenetze-2012.pdf.
- cleanthinking (2020): „*Eisspeicher*“. Abgerufen 11.06.2020 von <https://www.cleanthinking.de/eisspeicher-sorgt-fuer-kaelte-und-waerme-im-quartier/>.
- Clemes, J., Nisipeanu, P., Musculus, A., Rieß, P., Arnold, U., Vinnerås, B., Winker, M. (2008): „*Produkte aus neuartigen Sanitärsystemen in der Landwirtschaft*“. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA)*. 55 (10), S. 1120–1125, doi: [10.3242/kae2008.10.007](https://doi.org/10.3242/kae2008.10.007).
- Cordell, D., White, S. (2011): „*Peak Phosphorus: Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorus Security*“. In: *Sustainability*. 3 (10), S. 2027–2049, doi: [10.3390/su3102027](https://doi.org/10.3390/su3102027).
- Cornel, P., Schaum, C. (2009): „*Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs*“. In: *Water Science and Technology*. 59 (6), S. 1069–1076, doi: [10.2166/wst.2009.045](https://doi.org/10.2166/wst.2009.045).
- Crome, K. (2020): „*Stadtwerke Münster heizen mit überschüssigem Windstrom*“. Abgerufen 03.03.2020 von <https://www.energieagentur.nrw/blogs/erneuerbare/beitraege/stadtwerke-muenster-heizen-mit-ueberschuessigem-windstrom/>.
- Cunha, J.R. (2018): „*Anaerobic calcium phosphate bio granulation*“. (Dissertation) Wageningen University doi: [10.18174/457977](https://doi.org/10.18174/457977).

Abschnitt VI: Anhang

- DBU, BWP, Infrastrukturanlagen, I.E. in (Hrsg.) (2009): *Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauträger und Kommunen*. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Bundesverband Wärmepumpe e. V. (BWP), Institut Energie in Infrastrukturanlagen.
- dena (2019): „Abschlussbericht dena-Projekt Urbane Energiewende“. Abgerufen von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena_UrbWEW_Abschlussbericht_Gesamtversion.pdf.
- dena (2015a): „Der Königspark - ein CO₂-neutrales Quartier entsteht“. Abgerufen von https://www.energiesprong.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9135_Factsheet_Der_Koenigspark_Ein_CO2-neutrales_Quartier_entsteht.pdf.
- dena (2015b): „Fachbroschüre Systemlösung Power to Gas“. Abgerufen 15.04.2020 von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9096_Fachbroschuere_Systemloesung_Power_to_Gas.pdf.
- dena (2012): „Lastmanagement Handbuch“. Abgerufen 27.04.2020 von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/1408_Lastmanagement_Handbuch.pdf.
- dena (2018): „Schnittstellen und Standards für die Digitalisierung der Energiewende“. Abgerufen 20.04.2020 von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9240_Schnittstellen_und_Standards_fuer_die_Digitalisierung_der_Energiewende.pdf.
- Desmidt, E., Ghyselbrecht, K., Zhang, Y., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., Verstraete, W., Rabaey, K., Meesschaert, B. (2015): „Global Phosphorus Scarcity and Full-Scale P-Recovery Techniques: A Review“. In: *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 45 (4), S. 336–384, doi: [10.1080/10643389.2013.866531](https://doi.org/10.1080/10643389.2013.866531).
- detail (2018): „Wärmepumpen mit Inverter-Technologie“. Abgerufen 13.10.2021 von <https://www.detail.de/artikel/waermepumpe-mit-inverter-technologie-und-erweitertem-gestaltungsspielraum-32073/>.
- Deutsche Bahn (2014): „Windräder auf dem Dach: Bahnhof Berlin Südkreuz wird intelligente Mobilitätsstation“. Abgerufen 07.05.2020 von https://archive.vn/20140502143730/http://www.deutschebahn.com/de/presse/presseinformationen/pi_k/6830244/h20140430.html.
- Dichtl, N., Schmelz, K.-G. (2015): „Verfahrenstechniken zur Behandlung von Klärschlamm“. In: *Anaerobtechnik: Abwasser-, Schlamm- und Reststoffbehandlung, Biogasgewinnung*. 3., neu bearb. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.
- DIN 1986-30, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2003): *Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 30: Instandhaltung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 1989-1, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2002): *Regenwassernutzungsanlagen - Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 4034-1, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2020): *Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen - Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für Abwasserleitungen und -kanäle in Ergänzung zu DIN EN 1917:2003-04*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 18531, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2017): *Abdichtung von Dächern sowie Balkonen Loggien und Laubengängen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 18915, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2018): *DIN 18915 - Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 18916, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2016): *DIN 18916 - Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Pflanzen und Pflanzarbeiten*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 19650, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (1999): *Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser*. Berlin: Beuth Verlag doi: [10.31030/2484611](https://doi.org/10.31030/2484611).
- DIN EN 752, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2017): *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 16932-1, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2018): *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Pumpsysteme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 16932-1:2018*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 16932-3, Deutsches Institut für Normung V. (DIN) (Hrsg.) (2018): *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Pumpsysteme - Teil 3: Unterdruckentwässerungssysteme; Deutsche Fassung EN 16932-3:2018*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 16941-1:2018-06 (2018): *Vor-Ort Anlagen für Nicht-Trinkwasser - Teil 1: Anlagen für die Verwendung von Regenwasser; Deutsche Fassung EN 16941-1:2018*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Discovery (2018): „Mieterstrom Webinar“. Abgerufen 26.06.2020 von <https://discovery.com/mieterstrom/webinar>.
- DKE (2013): „Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur“. Abgerufen 28.05.2020 von <https://www.din.de/blob/97246/c0cbb8df0581d171e1dc7674941fe409/technischer-leitfaden-ladeinfrastruktur-data.pdf>.

- Dockhorn, T. (2006): „Ressourcenökonomische Anreize für ein zukunftsfähiges Stoffstrommanagement in der kommunalen Abwasserwirtschaft“. In: KA – Abwasser, Abfall. 53 (1), S. 7.
- Doderer, Steffensen, Schäfer-Stradowsky (2018): „Positionspapier PtH Windnode“. Abgerufen 09.03.2020 von https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2017/12/20171220_IKEM_Positionspapier_PtH_Windnode.pdf.
- Doleski, O.D. (Hrsg.) (2020): *Praxis der digitalen Energiewirtschaft vom Vertrieb bis zu innovativen Energy Services*. Wiesbaden and Heidelberg: Springer Vieweg (Realisierung Utility 4.0 / Oliver D. Doleski, Hrsg).
- Dörr, Kröger, Graf, Köppel (2016): „Power-to-Gas“. Abgerufen 03.01.2020 von https://www.dvgw-ebi.de/download/ewp_1116_50-59_Kroeger.pdf.
- Dr. F. Dosch, S.H., J. Skowski, B.W., S. Willinger, T.A., F. Mayer, Dr.M.H., S. Mösch (2015): *Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft, Grünbuch Stadtgrün*. 1. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).
- Dunkelberg, E., Gähns, S., Weiß, J., Salecki, S. (2018): *Wirtschaftlichkeit von Mehrleiter-Wärmenetzen*. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (Schriftenreihe des IÖW 215/18).
- DWA (2017): *Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen*. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (DWA-Themen).
- DWA (2008): *Neuartige Sanitärsysteme*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (DWA-Themen).
- DWA-A 116-1 (2005): *DWA-Regelwerk: Besondere Entwässerungssysteme. Teil 1: Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- DWA-A 117 (2013): *DWA-Regelwerk: Bemessung von Regenrückhalteräumen*. 3. Aufl. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-A 138 (2005): *DWA-Regelwerk: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-A 272 (2014): *DWA-Regelwerk: Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS)*. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- DWA-A/M 102/ BWK-A/M 3 (2020): *DWA-Regelwerk: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Merkblattreihe Teil 1-4*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-M 114 (2020): *DWA-Regelwerk: Abwasserwärmenutzung*. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- DWA-M 227 (2014): *DWA-Regelwerk: Membran-Bioreaktor-Verfahren (MBR-Verfahren)*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- DWA-M 277 (2017): *DWA-Regelwerk: Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwater und Grauwasserteilströmen*. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- DWA-M 368 (2014): *DWA-Regelwerk: Biologische Stabilisierung von Klärschlamm*. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- DWA-M 511 (2017): *DWA-Regelwerk: Filter Geokunststoffe*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).
- e3dc (2020): „E3DC TDB S10“. HagerEnergy GmbH. Abgerufen 04.05.2020 von https://www.e3dc.com/fileadmin/mediacenter/downloads-fuer-kunden/E3DC_TDB_S10_E.pdf.
- EAWAG (Hrsg.) (2019): *fact sheet - Urinseparierung*. Dübendorf.
- ecocoach (2019): „Autarkes Quartier“. Abgerufen 25.03.2020 von https://ecocoach.com/news/presse/ecocoach_liefert_integrierte_Steuerung_fuer_autarkes_Quartier_mit_PV_Wasserkraft_und_Brennstoffzelle?search=Buochs#pressePost-presse.
- Eller, D. (2015): *Integration erneuerbarer Energien mit Power-to-Heat in Deutschland: Potentiale zur Nutzung von Stromüberschüssen in Fernwärmenetzen*. Wiesbaden: Springer Vieweg (BestMasters), doi: [10.1007/978-3-658-10561-7](https://doi.org/10.1007/978-3-658-10561-7).
- Eller, M., Vesper, S. (2019): „ReLab – Real-Labor Campus Birkenfeld“.
- Elmitwalli, T., Zeeman, G., Otterpohl, R. (2011): „Modelling anaerobic digestion of concentrated black water and faecal matter in accumulation system“. In: *Water Science and Technology*. 63 (9), S. 2039–2045, doi: [10.2166/wst.2011.458](https://doi.org/10.2166/wst.2011.458).
- Energie Schweiz (2017): „Planungshandbuch Fernwärme“. Abgerufen 18.05.2020 von https://www.energie-zentralschweiz.ch/fileadmin/user_upload/Downloads/Planungshilfen/Planungshandbuch_Fernwaerme_V1.0x.pdf.

Abschnitt VI: Anhang

- Energie Zentralschweiz (2017): „Planungshandbuch“. Abgerufen 18.05.2020 von https://www.energie-zentralschweiz.ch/fileadmin/user_upload/Downloads/Planungshilfen/Planungshandbuch_Fernwarme_V1.0x.pdf.
- Energieagentur NRW (2017a): „Kaltes Nahwärmenetz“. Abgerufen 08.04.2020 von https://www.energieagentur.nrw/eanrw/kaltes_nahwaermenetz.
- Energieagentur NRW (2017b): „Kaltes Nahwärmenetz spart 40.000 kg CO₂ im Jahr“. Abgerufen 08.10.2021 von <https://www.klimaschutz.nrw.de/best-practice/kaltes-nahwaermenetz-spart-40000-kg-co2-im-jahr>.
- Energieheld (2019): „Vergleich der Anschaffungskosten verschiedener Heizsysteme in Deutschland im Jahr 2021“. Statista. Abgerufen 02.12.2021 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/380742/umfrage/anschaffungskosten-verschiedener-heizsystem-in-deutschland/>.
- energiesprong (2020a): „Das Energiesprong-Prinzip“. Abgerufen 23.03.2020 von <https://www.energiesprong.de/fileadmin/Energiesprong/Dokumente/Energiesprong-Prinzip.pdf>.
- energiesprong (2020b): „Pilotprojekt Hameln“. Abgerufen 23.03.2020 von <https://www.energiesprong.de/marktentwicklung-aktuell/aktuelle-prototypen/pilotprojekt-hameln/>.
- EnerTwin (2020): „Mikro-KWK“. Abgerufen 11.05.2020 von <https://www.enertwin.com/enertwin-de/mikro-kwk>.
- Enkhardt, S. (2019): „Porto Santo - Fossilfreie Insel in Europa“. *pv-magazine.de*. Abgerufen 20.03.2020 von <https://www.pv-magazine.de/2019/05/24/porto-santo-auf-dem-weg-zur-ersten-smart-fossil-free-island-in-europa/>.
- e.on (2020): „Smart Grid“. Abgerufen 16.03.2020 von <https://www.eon.de/de/eonerleben/smart-grid-so-funktioniert-das-intelligente-stromnetz.html>.
- Erb, M., Peter, H., Ehrbar, M. (2004): *Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996 - 2003*. (Schlussbericht) Bundesamt für Energie (BFE).
- ErneuerbareEnergien (2017): „Wuppertaler Stadtwerke gründen regionalen Marktplatz für EE-Strom“. Abgerufen 08.12.2021 von <https://www.erneuerbareenergien.de/markt/windmarkt/blockchain-wuppertaler-stadtwerke-gruenden-regionalen-marktplatz-fuer-ee-strom>.
- ES-2.3, D.-A. (2010): „Hinweise zur Bemessung von Unterdruckentwässerungssystemen nach Arbeitsblatt DWA-A 116-1“. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA)*. 57 (3), S. 222–228.
- Etter, B., Udert, K. (2015): „Aus Urin wird Flüssigdünger“. In: *EAWAG Newsletter*. 1.
- Etter, B., Udert, K. (2016): *VUNA Handbook on Urine Treatment*. Dübendorf (Schweiz): Eawag.
- EUWID (2020): „Dossier Power-to-Gas“. Abgerufen 15.04.2020 von <https://www.euwid-energie.de/dossier-power-to-gas-fuer-die-energiewende/>.
- Ewert, W., Wagenbach, A. (2014): „AirPrex: MAP-Kristallisation in Verbindung mit Bio-P-Fällung“. Berlin.
- EWZ (2019): „Greencity - Eine ganzheitliche Energielösung für ein neues Quartier“. Abgerufen 13.10.2021 von <https://www.ewz.ch/content/dam/ewz/dae/q-plattform/dokumente/ewz-success-story-greencity-de.pdf>.
- fbr, Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (Hrsg.) (2016): *fbr-Hinweisblatt H 101: Kombination der Regenwassernutzung mit der Regenwasserversickerung*. Darmstadt: fbr-Dialog GmbH.
- fbr (2005): *Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise*. Darmstadt: fbr - Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung.
- fbr-H 201 (2005): *Grauwasser-Recycling: Planungsgrundlagen und Betriebshinweise*. (fbr Hinweisblatt) Darmstadt: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e. V. (fbr).
- ffe (2016a): „Demand-Side-Management in Haushalten als netzoptimierende Maßnahme“. *Forschungsstelle für Energiewirtschaft*. Abgerufen 27.04.2020 von <https://www.ffe.de/publikationen/veroeffentlichungen/649-demand-side-management-in-haushalten-als-netzoptimierende-massnahme>.
- ffe (2017): „Kostenanalyse Wärmespeicher“. *Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.* Abgerufen 25.05.2020 von <https://www.ffe.de/publikationen/veroeffentlichungen/659-kostenanalyse-waermespeicher-bis-10-000-l-speichergroesse>.
- ffe (2010): „Methodik DSM“. *Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.* Abgerufen 05.05.2020 von https://www.ffe.de/download/wissen/20100406_Methodik_DSM.pdf.
- ffe (2016b): „MOS Speichertechnologien“. *Forschungsstelle für Energiewirtschaft*. Abgerufen 29.05.2020 von https://www.ffe.de/images/stories/Themen/414_MOS/20160728_MOS_Speichertechnologien.pdf.
- ffe (2016c): „Speichertechnologien“. *Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.* Abgerufen 25.05.2020 von https://www.ffe.de/images/stories/Themen/414_MOS/20160728_MOS_Speichertechnologien.pdf.
- FGSV (2006): *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen*. FGSV.

- FGSV (2005): *Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS. Teil: Entwässerung*. Köln: FGSV Verlag.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2015a): *Bewässerungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen*. 2. Aufl. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2018a): *Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen*. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2010): *Empfehlungen für Baumpflanzungen - Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate*. Bonn.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Hrsg.) (2015b): *Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege*. Bonn: FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2012): *Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung der Übergangsbereiche von Freiflächen zu Gebäuden*. Bonn: FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2005): *Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung*. Bonn: FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.) (2018b): *Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege der Wand- und Fassadenbegrünungen*. 3. Aufl. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2015c): *Gütebestimmungen für Stauden*. Bonn: FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL, FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.) (2018c): *Leitfaden, nachhaltige Freianlagen*. 1. Aufl. Bonn: FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (Hrsg.) (2020): *TL-Baumschulpflanzen - Technische Lieferbedingungen für Baumschulpflanzen (Gütebestimmungen)*. Bonn: FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- Flynn, K.M., Traver, R.G. (2013): „Green infrastructure life cycle assessment: A bio-infiltration case study“. In: *Ecological engineering*. Elsevier 55, S. 9–22.
- FNR (2020): „Biomasseheizwerke“. Abgerufen 16.04.2020 von <https://heizen.fnr.de/biomasseanlagen/biomasseheizwerke/>.
- FNR (2014): „Leitfaden feste Biobrennstoffe“. Abgerufen 19.05.2020 von https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/leitfadenfestebiobrennstoffe_web.pdf.
- FNR (2017): „Marktübersicht Hackschnitzelheizungen“. Abgerufen 08.10.2021 von http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/hackschnitzel-heizungen_web.pdf.
- Franz Rother, Lothar Kuhn (2018): „Vehicle to Grid - wie ein Elektroauto das Stromnetz stabilisiert“. Abgerufen 20.03.2020 von <https://edison.media/ertraeumen/vehicle-to-grid-wie-ein-elektroauto-das-stromnetz-stabilisiert/23228592.html>.
- Fraunhofer IGB (o. J.): *DEUS 21 - Regeneratives Wassermanagement - Abwasserreinigung durch Verwertung der Inhaltsstoffe*. (Broschüre) Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB.
- Fraunhofer UMSICHT (2020): „Leitfaden Nahwärme“. Abgerufen 18.05.2020 von <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/kompetenz/energie/leitfaden-nahwaerme.pdf>.
- Friedl, Bliem, Aigner, Haber, Schmutzner (2014): „Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Smart-Grids - Lösungen anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse“. Abgerufen 20.04.2020 von https://www.tu-graz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/lf/LF_Friedl.pdf.
- Fronius Solar Energy (2020): „Wasserstoff als Energieträger“. Abgerufen 15.04.2020 von <https://www.fronius.com/de/solarenergie/infocenter/news/wasserstoff-als-energietraeger-111018>.
- Fuchsberger, R., Phillip, M., Renz, T., Schmidt, E., Stürmer, A. (o. J.): *Bewusster Umgang mit Wasser*. (Projektbericht) München: Technische Universität München (TUM).
- Gallert, C., Winter, J., Svoldal, K. (2015): „Grundlagen anaerober Prozesse“. In: Rosenwinkel, K.-H., Kroiss, H., Dichtl, N., et al. (Hrsg.) *Anaerobtechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg S. 19–79, doi: [10.1007/978-3-642-24895-5_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24895-5_2).

- Gammel Engineering (2020): „Biomasse-Heizwerk“. Abgerufen 16.04.2020 von <https://www.gammel.de/de/lexikon/Biomasse-Heizwerk/4767?>
- Gao, M., Zhang, L., Liu, Y. (2020): „High-loading food waste and blackwater anaerobic co-digestion: Maximizing bioenergy recovery“. In: *Chemical Engineering Journal*. 394, S. 124911, doi: [10.1016/j.cej.2020.124911](https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124911).
- Gargari, C., Bibbiani, C., Fantozzi, F., Campiotti, C.A. (2016): „Environmental impact of Green roofing: the contribute of a green roof to the sustainable use of natural resources in a life cycle approach“. In: *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. Elsevier 8, S. 646–656.
- GE renewable energy (2019): „Haliade X Offshore Turbine“. Abgerufen 19.01.2020 von <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine>.
- Geberit International AG (2017): *Umweltproduktdeklaration gemäß EN 15804 für die Produkte Geberit Urinale Preda und Selva*. Jona (Schweiz).
- gec-co (2018): „Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz: Geothermie“. Abgerufen 06.04.2020 von https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/bericht-eeg-3-geothermie.pdf?__blob=publicationFile&v=7.
- Geologischer Dienst NRW (2019): „Oberflächennahe Geothermie“. Abgerufen 13.10.2021 von https://www.gd.nrw.de/ew_og.htm.
- Geothermie Unterhaching (2019): „Datenblatt Geothermie Unterhaching“. Abgerufen 11.11.2019 von [https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/gfx/4A6EC4D8FE00F359C1258478002D7DF6/\\$file/Datenblatt%20Geothermie%20Unterhaching%202019.pdf](https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/gfx/4A6EC4D8FE00F359C1258478002D7DF6/$file/Datenblatt%20Geothermie%20Unterhaching%202019.pdf).
- Getec-Energyservices (2020): „Power-to-Heat“. Abgerufen 09.03.2020 von <https://www.getec-energy-services.com/Start/Technologien/Power-To-Heat/>.
- Ghimire, S.R., Johnston, J.M., Ingwersen, W.W., Hawkins, T.R. (2014): „Life cycle assessment of domestic and agricultural rainwater harvesting systems“. In: *Environmental science & technology*. ACS Publications 48 (7), S. 4069–4077.
- Giel, T. (2017): *Kalte Nahwärmenetze*.
- Giese, T., Londong, J. (Hrsg.) (2015): *Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung: Synthesebericht zum Forschungsprojekt KREIS*. Berlin: Rhombos-Verlag (Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende Infrastruktursysteme).
- Giesecke, J., Heimerl, S., Mosonyi, E. (2014): *Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb*. 6., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin and Heidelberg: Springer Vieweg doi: [10.1007/978-3-642-53871-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-53871-1).
- de Graaf, R. (2018): *Finanzökonomische Analyse 2017 Norrderhoek Waterschoon in Sneek (in Dutch)*. (Nr. 63A) Amersfoort: STOWA.
- de Graaf, M.S. de, Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N. (2010): „Anaerobic Treatment of Concentrated Black Water in a UASB Reactor at a Short HRT“. In: *Water*. 2 (1), S. 101–119, doi: [10.3390/w2010101](https://doi.org/10.3390/w2010101).
- Greenhouse Media (2019): „Sektorenkopplung Power-to-Heat“. Abgerufen 30.03.2020 von <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/oekostrom/sektorkopplung/power-to-heat.html>.
- Grömping, M. (o. J.): „Prozesswasserbehandlung Strippung / Saure Wäsche Kläranlage Wallau“. ATE-MIS GmbH. Abgerufen 05.01.2022 von https://www.atemis.net/ref/abwasser/Straubing_Luftstrippung_Saure_Waesche.pdf.
- Gusik, F. (o. J.): „Prozesswasserbehandlung Strippung / Saure Wäsche V-ARA Spittal / Drau (Österreich)“. ATEMIS GmbH.
- Hagedorn, V. (2019): *Wohnquartiere mit einem Niedrig-Temperatur-Wärmenetz: Eine modellgestützte Analyse zentraler und dezentraler Energieversorgungssysteme*. Wiesbaden and Heidelberg: Springer Spektrum (BestMasters).
- Hamann, A. (2015): *Grundlagen der Abwasserwärmenutzung: Leitfaden für Architekten, Ingenieure und Stadtplaner*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Hamburg Institut (2016): „Leitfaden Förderung Solarthermie“. Abgerufen 14.05.2020 von https://www.hamburg-institut.com/images/pdf/forschungsberichte/160725_Frderleitfaden_2%20%20Auflage.pdf.
- Hamburg Wasser (2017): *Hamburg Water Cycle: Jenfelder Au - Fragen und Antworten*. (Broschüre) Hamburg: Hamburg Wasser.
- Härtel, T. (2018): *Optimierung der Regelung zur Wärmeverteilung am Netzknoten und Auswertung der Informationen aus der MSR für die Energiekostenabrechnung der Mieter im Ubineum Zwickau*. Westsächsische Hochschule Zwickau.

- Hau, E. (2016): *Windkraftanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. 6. Auflage. Berlin: Springer Vieweg doi: [10.1007/978-3-662-53154-9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53154-9).
- Hefter, T., Birzle-Harder, B., Deffner, J. (2015): *Akzeptanz von Grauwasserbehandlung und Wärmerückgewinnung im Wohnungsbau Ergebnisse einer qualitativen Bewohnerbefragung*. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH.
- Heinlein, B. (2014): „Rechtsrahmen von Smart Grids und Smart Markets“. In: Aichele, C., Doleski, O.D. (Hrsg.) *Smart Market*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden S. 53–81.
- Heinzmann, B. (2018): „Großtechnische Phosphor-Rückgewinnung auf der Kläranlage Waßmannsdorf [Produkt „Berliner Pflanze“]“. Osnabrück: Berliner Wasserbetriebe.
- heizsparer (2019): „Wärmepumpen Kosten“. Abgerufen 13.10.2021 von <https://www.heizsparer.de/heizung/heizungssysteme/waermepumpe/waermepumpen-kosten>.
- Hermann, A., Palm, F. (2020): „Evaluation des Einsatzes der Blockchaintechnologie im Abrechnungssystem eines lokalen dezentralen Energiemarktes“. In: Neumann, T., Ziesler, U., Teich, T. (Hrsg.) *Kooperation und Innovation für eine nachhaltige Stadtentwicklung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden S. 245–257, doi: [10.1007/978-3-658-29554-7_16](https://doi.org/10.1007/978-3-658-29554-7_16).
- Hertel, S., Navarro, P., Deegener, S., Körner, I. (2015): „Biogas and nutrients from blackwater, lawn cuttings and grease trap residues—experiments for Hamburg’s Jenfelder Au district“. In: *Energy, Sustainability and Society*. 5 (1), S. 29, doi: [10.1186/s13705-015-0057-5](https://doi.org/10.1186/s13705-015-0057-5).
- Hoffmann, Härtel, Schwind, Theil (2020): „Sanierung der Energieeffizienz in der Wärmeversorgung von Wohnquartieren“. In: *Kooperation und Innovation nachhaltiger Stadtentwicklung*. Springer-Spektrum S. 259–269.
- Home Power Solutions (2015): „Dreamteam Photovoltaik und Brennstoffzelle“. Abgerufen 15.04.2020 von https://www.homepowersolutions.de/downloads/mein%20sch%C3%B6nes%20Zuhause%C2%B0%C2%B0%C2%B0%20152-153_HPS_Weberhaus.pdf.
- von Horn, J., Maurer, M., Londong, J., Lautenschläger, S., Steinmetz, H., Hillebrand, T., Dockhorn, T. (2013): „Welche neuartigen Sanitärsysteme (NASS) sind für Deutschland besonders Erfolg versprechend?“. In: *Welche neuartigen Sanitärsysteme (NASS) sind für Deutschland besonders Erfolg versprechend?*. 2013 (8), S. 673–683, doi: [10.3242/kae2013.08.002](https://doi.org/10.3242/kae2013.08.002).
- HTW Berlin (2013): „Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum“. Abgerufen 08.05.2020 von http://www.aee-now.at/cms/fileadmin/downloads/allgemein/Kleinwind/Kleinwind_Handlungsempfehlungen_HTW-Berlin.pdf.
- Huber (2022): „Abwasserwärmetauscher RoWin“. *Huber Technology Waste Water Solutions*. Abgerufen 05.01.2022 von https://www.huber.de/fileadmin/01_products/11_energy_from_ww/11_rowin/pro_rowin_de.pdf.
- IINAS (2015): „GEMIS-Datenbank, Heizen 2015“. *Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS)*.
- IINAS (2020): „GEMIS-Datenbank, Strom 2020“. *Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS)*.
- Industrieverband Agrar (2022): „Wie ist das Düngemittelrecht in Deutschland strukturiert?“. Abgerufen 05.01.2022 von <https://www.iva.de/verband/pflanzenernaehrung/faq-haeufig-gestellte-fragen/duengemittelrecht/wie-ist-das-duengemittelrecht-deutschland>.
- Irrek, W., Thomas, S. (2008): „Definition Energieeffizienz“. Abgerufen von https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/misc/energieeffizienz_definition.pdf.
- Jordehi, A.R. (2019): „Optimisation of demand response in electric power systems, a review“. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 103, S. 308–319, doi: [10.1016/j.rser.2018.12.054](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.054).
- Joseph-Stiftung (2020): „Wasserkraftwerk“. Abgerufen 25.03.2020 von <https://www.joseph-stiftung.de/portraet/wasserkraftwerk>.
- Jüttemann, P. (2020): „Ein windstarker Standort ist das A und O“. Abgerufen 20.05.2020 von <https://www.klein-windkraftanlagen.com/basisinfo/standort/>.
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H. (Hrsg.) (2009): *Energie aus Biomasse*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg doi: [10.1007/978-3-540-85095-3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-85095-3).
- KEAN (2019): „PV-Speicher Beratungsmappe“. Abgerufen 08.05.2020 von https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/Resources/Persistent/d3e3548c42db20eb523ee592bdabb0d9ec3b14ab/NDS_PVSpeicher_Info_fuer_Beratungsmappe.pdf.
- Keuneke, Dipl.-Ing.R. (2015): „Marktanalyse zur Vorbereitung von Ausschreibungen Vorhaben IId, Wasserkraft“. *erneuerbare-energien.de*. Abgerufen 06.08.2020 von https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/marktanalysen-studie-wasserkraft.pdf?blob=publicationFile&v=4.

- Kisser, J., Wirth, M., De Gusseme, B., Van Eekert, M., Zeeman, G., Schoenborn, A., Vinnerås, B., Finger, D.C., Kolbl Repinc, S., Bulc, T.G., Bani, A., Pavlova, D., Staicu, L.C., Atasoy, M., Ceteçioğlu, Z., Kokko, M., Haznedaroglu, B.Z., Hansen, J., Istenič, D., Canga, E., Malamis, S., Camilleri-Fenech, M., Beesley, L. (2020): „A review of nature-based solutions for resource recovery in cities“. In: *Blue-Green Systems*. doi: [10.2166/bgs.2020.930](https://doi.org/10.2166/bgs.2020.930).
- Kjerstadius, H., Haghigatafshar, S., Davidsson, Å. (2015): „Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems“. In: *Environmental Technology*. 36 (13), S. 1707–1720, doi: [10.1080/09593330.2015.1007089](https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1007089).
- Klemm, C., Vennemann, P. (2021): „Modeling and optimization of multi-energy systems in mixed-use districts: A review of existing methods and approaches“. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 135, S. 110206, doi: [10.1016/j.rser.2020.110206](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110206).
- Kloth, P. (2020): „Hersteller von Solarthermie-Anlagen - eine Übersicht“. *energieheld*. Abgerufen von <https://www.energieheld.de/solaranlage/solarthermie/hersteller-und-partner>.
- Knies, J. (2015): „The Potential for Extracting Heat Energy from Waste Water: A Strategic Approach“. In: *Journal for Geographic Information Science*. 3, S. 189–198, doi: [10.1553/giscience2015s189](https://doi.org/10.1553/giscience2015s189).
- Knop, I. (2011): „Beitrag von Wärmepumpsystemen und Wärmespeichern zur Integration erneuerbarer Energien“. Abgerufen von https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2016/files/pr/Stream_F/Session_F2/PR_Knop.pdf.
- Koenzen, U. (2020): „lokSMART“. Abgerufen 19.03.2020 von <https://www.loksmart.de/>.
- Konstantin, M. (2018): *Praxisbuch der Fernwärmeversorgung: Systeme, Netzaufbauvarianten, Kraft-Wärme-Kopplung, Kostenstrukturen und Preisbildung*. Berlin: Springer Vieweg doi: [10.1007/978-3-662-55911-6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55911-6).
- Koschi, C., Zahner-Meike, E., Kexel, S. (2008): *Bepflanzte Bodenfilter zur Reinigung häuslichen Abwassers in Kleinkläranlagen*. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- Koth, P. (2020): „Nachtspeicherheizung“. Abgerufen 21.04.2020 von <https://www.energieheld.de/heizung/elektroheizung/nachtspeicherheizung>.
- Kradisch, A. (2020): „Wärmespeicher n-ergie“. Abgerufen 25.05.2020 von <https://www.fotodesign-kradisch.de/>.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (2020): „Das KfW-Effizienzhaus“. Abgerufen 24.04.2020 von <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Das-KfW-Effizienzhaus/>.
- Kühl, A. (2018): „Erlebnis Elektromobilität und zukunftsfähiges Stadtquartier Franklin auf der Smart-Grids BW Bloggertour 2018“. *Energynet*. Abgerufen 16.03.2020 von <https://www.energynet.de/2018/03/21/smart-grids-bw-bloggertour-2018/>.
- Kujawa, K. (2005): *Anaerobic Treatment of Concentrated Wastewater in DESAR Concept (in Dutch)*. Utrecht: STOWA.
- Kurzweil, P., Dietlmeier, O. (2018): *Elektrochemische Speicher: Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, rechtliche Rahmenbedingungen*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Larsen, T.A., Lienert, J. (2007): *NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft*. (Novaquatis Abschlussbericht) Dübendorf (Schweiz): Eawag.
- Larsen, T.A., Riechmann, M.E., Udert, K.M. (2021): „State of the art of urine treatment technologies: A critical review.“. In: *Water Research X*. S. 100114, doi: [10.1016/j.wroa.2021.100114](https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100114).
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W., Klapwijk, A. (1980): „Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment“. In: *Biotechnology and Bioengineering*. 22 (4), S. 699–734, doi: [10.1002/bit.260220402](https://doi.org/10.1002/bit.260220402).
- lumenion (2020): „Hochtemperaturspeicher“. Abgerufen 30.03.2020 von <https://lumenion.com/produkt-2>.
- M GeoK E (2016): *Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus*. Berlin: FGSV.
- Maier, M. (2017): „Grosswärmespeicher - zentraler Baustein einer flexiblen Strom- und Wärmeversorgung“. *unendlich-viel-energie.de*. Abgerufen 11.03.2020 von https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/1201.80_Renews_Spezial_Waermespeicher_Jul17.pdf.
- Marazzi, L. (2016): „greencity“. Abgerufen 25.03.2020 von <http://www.greencity.ch/de/areal/>.
- Meininger, F., Oldenburg, M. (2009): „Characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment“. In: *Water Science and Technology*. 59 (9), S. 1785–1791, doi: [10.2166/wst.2009.185](https://doi.org/10.2166/wst.2009.185).
- Menger-Krug, E., Niederste-Hollenberg, J., Hillenbrand, T., Hummen, T., Feldmann, U., Garcia, A.P. (2015): „Ökologische Bewertung des AQUALOOP Systems“. Karlsruhe.

- Michael Laskowski (2013): „E-Energy: E-DeMa: Entwicklung und Demonstration dezentral vernetzter Energiesysteme hin zum E-Energy-Marktplatz der Zukunft“. Abgerufen 21.12.2021 von https://www.e-dema.de/datas/150_dpi_E-DeMa_Abschlussbericht_final.pdf.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019): „Freiflächsolaranlagen“. Abgerufen 07.10.2021 von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Handlungsleitfaden_Freiflaechensolaranlagen.pdf.
- Mohr, M., Iden, J., Beckett, M. (2016): *Guideline: Vacuum sewer systems*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB.
- Montag, D., Everding, W., Malms, S., Pinnekamp, J., Reinhardt, J., Fehrenbach, H., Arnold, U., Trimborn, M., Goldbach, H., Klett, W., Lammers, T. (2015): *Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz*. (Nr. 3713 26 301, UBA-FB 002120) Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA).
- Morales-Pinzón, T., Rieradevall, J., Gasol, C.M., Gabarrell, X. (2015): „Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems“. In: *Journal of Cleaner Production*. Elsevier 87 , S. 613–626.
- Müller, B. (2019): „PVT-Kollektoren“. Abgerufen 08.10.2021 von https://www.dgs.de/fileadmin/newsletter/2019/Intersolar_2019_Mueller.pdf.
- Müller, E., Butz, J. (2010): „Abwasserwärmenutzung in Deutschland - Aktueller Stand und Ausblick“. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA)*. 57 (5), S. 457–462, doi: [10.3242/kae2010.05.002](https://doi.org/10.3242/kae2010.05.002).
- Naturstrom AG (2018): „Energiewende-Quartier Möckernkiez füllt sich mit Leben“. Abgerufen 31.03.2020 von <https://www.naturstrom.de/ueber-uns/presse/news-detail/energiewende-quartier-moeckernkiez-fuellt-sich-mit-leben/>.
- N-Energie (2020): „N-Ergie“. Abgerufen 25.05.2020 von https://www.n-ergie.de/public/remotemedien/media/n_ergie/internet/die_n_ergie/unternehmen/1/unsere_ergie/kraftwerkstandort/Waermespeicher_Funktionsweise_Illustration.pdf.
- NeoVenti (2020): „Windwalze NeoVent“. Abgerufen 07.05.2020 von <https://www.neoventi.de/produkt/#wirkungsweise>.
- Neumann, T., Ziesler, U., Teich, T. (Hrsg.) (2020): *Kooperation und Innovation für eine nachhaltige Stadtentwicklung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden doi: [10.1007/978-3-658-29554-7](https://doi.org/10.1007/978-3-658-29554-7).
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2020): „Biomassennutzung“. Abgerufen 16.04.2020 von https://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/energie/erneuerbare_energien/bioenergie/biomassennutzung/biomassennutzung-121352.html.
- Nolde, E. (2016): *Steigerung der Energieerträge bei der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser*. (Endbericht des DBU Projekts AZ 32156-24) Berlin.
- Oehler, S. (2018): *Emissionsfreie Gebäude*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden doi: [10.1007/978-3-658-16056-2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-16056-2).
- Oldenburg, M., Rohde, R., Wuttke, M., Kuck, W., Hamburger Stadtentwässerung AöR (Hrsg.) (2015): *Handbuch Unterdruckentwässerung - Ein Leitfaden für die Installation in Gebäuden*. Hamburg.
- Ottelé, M., Perini, K., Haas, E.M. (2014): „Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems“. In: *Eco-efficient construction and building materials*. Elsevier S. 457–483.
- Pablo Santiago (2019): „Strombeschaffungspreise im Discovery Portal“. Abgerufen 21.12.2021 von <https://discovery.com/blog/boersenstrompreise-ansicht>.
- Palla, A., Gnecco, I. (2015): „Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale“. In: *Journal of Hydrology*. 528 , S. 361–368, doi: [10.1016/j.jhydrol.2015.06.050](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.050).
- Paschotta, R. (2019): „Solarstromspeicher“. Abgerufen 02.12.2019 von <https://www.energie-lexikon.info/solarstromspeicher.html>.
- Pebbles (2020): „Pebbles“. Abgerufen 24.04.2020 von <https://pebbles-projekt.de/projekt/>.
- Pehnt, M. (2017): „Wärmenetzsysteme 4.0“. Abgerufen 08.10.2021 von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Themen_und_Projekte/Gebaeude/Rahmenvertrag_BMWi/Studie_Umsetzung_Modellvorhaben_erneuerbare_Energien_hocheffiziente_saisonalspeichergestuetzte_Niedertemperaturwaermenetze.pdf.
- af Petersens, E., Johansson, M., Andersson, J. (2001): *Market survey – extremely low flush toilets plus urine diverting toilets and urinals for collection of black water and/or urine*. Uppsala: Water Revival Systems Uppsala AB, SwedEviro Consulting Group.
- Pewo Energietechnik GmbH (2020): „Übergabestation PEWO“. Abgerufen 14.05.2020 von <https://www.pewo.com/produkte/uebergabestationen/>.

Abschnitt VI: Anhang

- PFI Planungsgemeinschaft GmbH & C KG (2021): „Phosphorrecycling durch Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) auf dem Klärwerk Steinhof“. Abgerufen 22.02.2021 von <https://www.pfi.de/phosphorrecycling-durch-faellung-von-magnesium-ammonium-phosphat-map-auf-dem-klarwerk-steinhof/>.
- PFI Planungsgemeinschaft GmbH & Co KG (2021): „Stickstoffrückgewinnung durch Ammoniak-Strip-pung auf dem Klärwerk Steinhof“. Abgerufen 23.02.2021 von <https://www.pfi.de/stickstoffrueck-gewinnung-durch-ammoniak-strip-pung-auf-dem-klarwerk-steinhof-2/>.
- Pilz, A. (2017): „Pellets für ökologische Siedlung“. Abgerufen 17.04.2020 von https://www.gih.de/wp-content/uploads/2017/12/EnergieKOMPAKT_06_2017_-Pellets_f%C3%BCr_%C3%B6kologi-sche_Siedlung.pdf.
- Polarstern (2020): „Smarte Quartiersentwicklung“. Abgerufen 18.06.2020 von <https://www.polarstern-energie.de/mieterstrom/smarte-quartiersentwicklung/>.
- Reich, G., Reppich, M. (2018): *Regenerative Energietechnik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden doi: [10.1007/978-3-658-20608-6](https://doi.org/10.1007/978-3-658-20608-6).
- Reichmann, B., Nolde, E., Vansbotter, B., Rüdén, H., Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.) (2007): *Innovative Wasserkonzepte - Betriebswassernutzung in Gebäuden*. Berlin.
- Reiterer, D. (2014): „Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik“. Abgerufen 20.05.2020 von https://www.oegut.at/downloads/pdf/eb-kleinwindkraft_anhang5.pdf.
- Riechel, M., Remy, C., Matzinger, A., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Rehfeld-Klein, M., Reichmann, B. (2017): *Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS*. Berlin: Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH (KWB).
- Ringkjøb, H.-K., Haugan, P.M., Solbrekke, I.M. (2018): „A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables“. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 96, S. 440–459, doi: [10.1016/j.rser.2018.08.002](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.002).
- Römer, W. (2013): „Phosphor-Düngewirkung von P-Recyclingprodukten“. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA)*. 60 (3), S. 202–215, doi: [10.3242/kae2013.03.003](https://doi.org/10.3242/kae2013.03.003).
- Rosenwinkel, K.-H., Kroiss, H., Dichtl, N., Seyfried, C.-F., Weiland, P. (Hrsg.) (2015): *Anaerobtechnik: Abwasser-, Schlamm- und Reststoffbehandlung, Biogasgewinnung*. 3., neu bearb. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.
- RVT Process Equipment GmbH (2010): „Entfernung und Verwertung von Ammoniak aus Flüssigkeiten und Gasen“. Abgerufen 05.01.2022 von https://www.rvtpe.com/fileadmin/documents/print_and_publications/RVT_Ammoniak_Rueckgewinn_150423.pdf.
- RWTH Aachen (2018): „Speichermonitoring“. Abgerufen 02.12.2019 von <http://www.speichermonitoring.de/ueber-pv-speicher/studien.html>.
- Sanyé Mengual, E., Oliver i Solà, J. (2015): *Sustainability assessment of urban rooftop farming using an interdisciplinary approach*. Universitat Autònoma de Barcelona,.
- Schabbach, T., Leibbrandt, P. (2014): *Solarthermie: Wie Sonne zu Wärme wird*. Berlin and Heidelberg: Springer Vieweg (Technik im Fokus Daten Fakten Hintergründe).
- Schatzinger, S., Rose, H. (2012): „Hafencity Praxisleitfaden Elektromobilität“. Abgerufen 04.06.2020 von https://www.hafencity.com/upload/files/files/HafenCity_Praxisleitfaden_Elektromobilitaet.pdf.
- Schaumann, G., Schmitz, K.W. (Hrsg.) (2010): *Kraft-Wärme-Kopplung*. 4., vollst. bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (VDI-Buch).
- Schinnerl, D., Bucar, G., Piller, S., Unger, F. (2007): *AbwasserWärmeNutzung Leitfaden zur Projektentwicklung*. Graz, Berlin: Grazer Energieagentur GmbH, Berliner Energieagentur GmbH.
- Schipperskaai Development cvba (2017): „DE NIEUWE DOKKEN - The keys to Energy Neutrality in The New Docks in Ghent (B)“.
- Schleswiger SW (2019): „Kalte Nahwärme – ökologisch, clever und hocheffizient“. Abgerufen 20.05.2020 von <https://www.schleswiger-stadtwerke.de/content/produkte/schleswigerNAH-WAERME/index.php>.
- Schneider, C. (2018): „Blockchain in der Energiewirtschaft“. Abgerufen 27.03.2020 von <https://w3.windmesse.de/windenergie/news/27569-blockchain-energiewirtschaft-energie-gesetz>.
- Schopfer, Dürr (2019): „Quartier-Strom“. Abgerufen 26.03.2020 von <https://quartier-strom.ch/index.php/das-wichtigste-in-kurze/>.
- Schramm, E., Oldenburg, M., Wuttke, M., Birzle-Harder, B., Hefter, T., Rohde, R. (2019): „Akzeptanz der Unterdrucktechnik in Wohngebäuden Teil 1: Wahrnehmung der Nutzenden und technische

- Hintergründe*. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA)*. 2019 (3), S. 180–186, doi: [10.3242/kae2019.03.001](https://doi.org/10.3242/kae2019.03.001).
- Schütze, M., Wriege-Bechtold, A., Zinati, T., Söbke, H., Wißmann, I., Schulz, M., Vesper, S., Londong, J., Barjenbruch, M., Alex, J. (2019): „*Simulation and visualization of material flows in sanitation systems for streamlined sustainability assessment*“. In: *Water Science and Technology*. 79 (10), S. 1966–1976, doi: [10.2166/wst.2019.199](https://doi.org/10.2166/wst.2019.199).
- ses (2015): „*Energiewende im Keller: BHKW versorgt Quartier*“. Abgerufen 08.10.2021 von <https://www.ses-energiesysteme.com/uber-uns/aktuelles/energiewende-im-keller-bhkw-versorgt-quartier/>.
- SIB Sachsen (2010): „*Standortunabhängige Studie zur Nutzung von Tiefengeothermie im Freistaat Sachsen*“. Abgerufen 13.05.2020 von https://www.sib.sachsen.de/fileadmin/user_upload/PDF-Dokumente/Standortunabhaengige-Studie-zur-Nutzung-von-Tiefengeothermie-im-Freistaat-Sachsen.pdf.
- Silke Thole (2017): „*25 Prozent weniger Kosten durch variable Stromtarife*“. Abgerufen 30.03.2020 von <https://www.enbausa.de/lueftung/aktuelles/artikel/25-prozent-weniger-kosten-durch-variable-stromtarife-2513.html>.
- Skambraks, A.-K., Kjerstadius, H., Meier, M., Davidsson, Å., Wuttke, M., Giese, T. (2017): „*Source separation sewage systems as a trend in urban wastewater management: Drivers for the implementation of pilot areas in Northern Europe*“. In: *Sustainable Cities and Society*. 28, S. 287–296, doi: [10.1016/j.scs.2016.09.013](https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.013).
- Solites (2020): „*Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme*“. Abgerufen 25.05.2020 von <http://www.saisonalspeicher.de/Planung/Voraussetzungen/Kosten/tabid/87/Default.aspx>.
- Sommer, J. (2015): „*Vergleichende Ökobilanzierung verschiedener Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung*“. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig.
- Stadwerke Ludwigsburg (2019): „*SWLB geht nachhaltig*“. Abgerufen 29.04.2020 von <https://www.swlb.de/nachhaltigkeit?ConsentReferrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>.
- Steinmetz, H. (2016): „*Phosphor-Rückgewinnung – Aktuelle Entwicklungen in Deutschland*“. In: 2. Kongress: Phosphor - Ein kritischer Rohstoff mit Zukunft am 26. und 27. Oktober 2016 im Kurssaal Stuttgart Bad Cannstatt. Bad Cannstatt.
- Steinmetz, H., Minke, R., Morandi, C., Wasielewski, S., Mouarkech, K. (2017): *Verbundprojekt TWIST++: Transitionswege WasserInfraStruktursysteme: Anpassung an neue Herausforderungen im städtischen und ländlichen Raum : Teilprojekt der Universität Stuttgart*. (Fachlicher Schlussbericht) Stuttgart.
- Sternier, M., Stadler, I. (2017): *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg doi: [10.1007/978-3-662-48893-5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48893-5).
- Stober, I., Bucher, K. (2014): *Geothermie*. 2., [überarb. und aktualisierte] Aufl. Berlin and Heidelberg: Springer Spektrum (Lehrbuch), doi: [10.1007/978-3-642-41763-4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41763-4).
- Strohbach, M.W., Arnold, E., Haase, D. (2012): „*The carbon footprint of urban green space - A life cycle approach*“. In: *Landscape and Urban Planning*. Elsevier 104 (2), S. 220–229.
- Sulzer, M., Hangartner, D. (2014): *Grundlagen-/Thesen Kalte Fernwärme (Anergienetze) - Thesenpapier*. Luzern: Hochschule Luzern.
- Sulzer, M., Menti, U.-P., Hochschule Luzern (Hrsg.) (2015): „*Multi-Energy-Grid: Möglichkeit der thermischen Vernetzung*“. In: *Aqua & Gas*. 7 (8), S. 56–61.
- Suurstoffi (2020): „*Mission Zero-Zero*“. Abgerufen 14.04.2020 von <https://www.suurstoffi.ch/energie-konzept>.
- SW Augsburg (2020): „*Power-to-Gas*“. Abgerufen 15.04.2020 von <https://www.sw-augsburg.de/power-to-gas/>.
- SW Neumuenster (2020): „*Erklärung Power-to-Heat*“. Abgerufen 14.05.2020 von https://www.stadtwerke-neumuenster.de/fileadmin/swn.net/media/unternehmen/presse/pressemitteilungen/Erklaerung_Power-to-Heat_final.pdf.
- Swantje Gährs, Evelin Wieckowski, Jonas von Braunmühl, Andreas Wolfmaier, Bernd Hirschl (2015): „*Simulation von Prosumer Haushalten*“. Abgerufen 06.05.2020 von https://www.prosumer-haushalte.de/data/prohaus/user_upload/IOEW_Arbeitspapier-AP3_Simulation-von-Prosumer-Haushalten_Final.pdf.
- Tesla (2017): „*Tesla Powerpack to Enable Large Scale Sustainable Energy to South Australia*“. Abgerufen 31.01.2023 von <https://www.tesla.com/blog/tesla-powerpack-enable-large-scale-sustainable-energy-south-australia>.
- Teuffer, M. (2020): „*N-Ergie zieht positive Bilanz zu Wärmespeichern*“. Abgerufen 11.06.2020 von <https://www.energate-messenger.de/news/200463/n-ergie-zieht-positive-bilanz-zu-waermespeicher>.

- The Mobility House (2019): „*mobilityhouse.com*“. Abgerufen 20.03.2020 von https://www.mobilityhouse.com/de_de/magazin/emobility/v2gprojekte-tmh.html.
- Tian, Y., Zhao, C.Y. (2013): „*A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications*“. In: *Applied Energy*. 104, S. 538–553, doi: [10.1016/j.apenergy.2012.11.051](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.051).
- Toboso-Chavero, S., Madrid-López, C., Villalba, G., Gabarrell Durany, X., Hückstädt, A.B., Finkbeiner, M., Lehmann, A. (2021): „*Environmental and social life cycle assessment of growing media for urban rooftop farming*“. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Springer 26 (10), S. 2085–2102.
- Töpler, J., Lehmann, J. (Hrsg.) (2013): *Wasserstoff und Brennstoffzelle: Technologien und Marktperspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- ub.de Fachwissen (2020): „*Blockheizkraftwerk*“. Abgerufen 08.10.2021 von <https://www.blockheizkraftwerk.org/>.
- Umweltbundesamt (2020a): „*Energieverbrauch privater Haushalte*“. Abgerufen 23.07.2020 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#hochster-anteil-am-energieverbrauch-zum-heizen>.
- Umweltbundesamt (2020b): „*Wärmepumpen gewusst wie*“. Abgerufen 26.02.2020 von <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/waermepumpe#gewusst-wie>.
- Umweltbundesamt (2013): „*Was ist ein Smart Grid?*“. Abgerufen 17.04.2020 von <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-ein-smart-grid>.
- Urbane Energie (2016): „*Financing Mieterstrom*“. Abgerufen 18.06.2020 von https://www.pv-mieterstrom.de/wp-content/uploads/2016/11/PV_Financing_Mieterstrom.pdf.
- Urbansky, F. (2016): „*Erneuerbare Energien sind die Zukunft der Wärmenetze*“. Abgerufen 18.11.2019 von <https://www.enwipo.de/2016/03/01/waermenetze-nur-bei-sehr-hoher-anschlussdichte-wirtschaftlich/>.
- URIMAT Deutschland AG (o. J.): „*URIMAT Montageservice*“. Abgerufen 22.03.2021 von <https://www.urimat.shop/wasserlose-urinale/Desinfektionsmittelspender-42-52-55-56-57-58-61-63-66.html>.
- Vaillant (2020): „*Elektro-Speicherheizgeräte eloMENT VSU EL und VSF EL*“. Abgerufen 07.05.2020 von <https://www.vaillant.de/heizung/produkte/elektro-speicherheizgeraete-eloment-vsue-el-und-ysf-el-125568.html>.
- Vaneekhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G., Meers, E. (2017): „*Nutrient Recovery from Digestate: Systematic Technology Review and Product Classification*“. In: *Waste and Biomass Valorization*. 8 (1), S. 21–40, doi: [10.1007/s12649-016-9642-x](https://doi.org/10.1007/s12649-016-9642-x).
- Vattenfall (2018): „*Elektrodenkessel Power-to-Heat*“. Abgerufen 07.05.2020 von <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/blog-news-presse/news/2018/juni/elektrodenkessel-power-to-heat>.
- VDE (2020): „*Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur*“. Abgerufen 28.05.2020 von <https://www.vde.com/resource/blob/988408/a2b8e484994d628b515b56376f809e28/technischer-leitfaden-ladeinfrastruktur-elektromobilitaet---version-3-data.pdf>.
- Verbraucherzentrale (2020): „*Smart Meter: Die neuen Stromzähler kommen*“. Abgerufen 20.04.2020 von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/preise-tarife-anbieterwechsel/smart-meter-die-neuen-stromzaehler-kommen-13275>.
- Verbraucherzentrale NRW (2020): „*Energie 2020 - Batteriespeicher*“. Abgerufen 06.01.2020 von https://www.energie2020.nrw/sites/default/files/2019-09/F%C3%B6rderprodukt_progress.nrw_Batteriespeicher.pdf.
- Verbraucherzentrale NRW (2017): „*Kleinwindkraftanlagen: Das sollten Sie wissen*“. Abgerufen 17.05.2020 von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/kleine-windenergieanlagen-stromerzeugung-in-eigener-hand-10857>.
- Verbraucherzentrale NRW (2019): „*Solaranlage planen, Batteriespeicher*“. Abgerufen 06.01.2019 von https://www.verbraucherzentrale.nrw/sites/default/files/2019-04/201904_Solaranlage-planen-kaufen_Batteriespeicher_Brosch%C3%BCre_VZ-NRW.pdf.
- Veser, S., Londong, J. (2017): *EVASENS - Einsatz von Vakuum-Inlinern im Bestand: Integration von Unterdruck-Sanitärtechnik im bestehenden Gebäude zur Etablierung von NASS-Systemen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative ZukunftBau).
- Veser, S., Londong, J., Kraft, E., Hansen, J. (2015): *Doppel-Inliner-Verfahren zur getrennten Erfassung von Schwarz- und Grauwasser im Gebäudebestand*. Berlin: epubli GmbH.
- VKU (2018): „*Vom Mieterstrom zur Quartiersversorgung*“. Abgerufen von <https://www.vku.de/publikationen/2018-neue-broschuere-vom-mieterstrom-zur-quartiersversorgung-erschiene/>.
- Vonovia (2020): „*Innovationsquartier Bochum Weitmar*“. Abgerufen 16.03.2020 von <https://www.vonovia.de/de-de/ueber-vonovia/presse/pressemitteilungen/200123-innovationsquartier-bochum-weitmar>.

- Vuna GmbH (2021a): *Faktenblatt Kunden*.
- Vuna GmbH (2021b): *VunaNexus*.
- Wagner, A. (2015): *Photovoltaik Engineering: Handbuch für Planung, Entwicklung und Anwendung*. 4. Auflage. Heidelberg and Dordrecht and London and New York: Springer Vieweg (VDI-Buch), doi: [10.1007/978-3-662-48640-5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48640-5).
- Walker-Hertkorn, S. (2017): „Geothermieprojekte rund um den Henniger Turm in Frankfurt am Main“. Abgerufen 08.10.2021 von [https://www.tsb-energie.de/fileadmin/Redakteure/Veranstaltungen/Gebaueudeenergie/2017/Vortraege/Fr. Prof. Walker-Hertkorn_WZS Straubing - 2. Beitrag.pdf](https://www.tsb-energie.de/fileadmin/Redakteure/Veranstaltungen/Gebaueudeenergie/2017/Vortraege/Fr._Prof._Walker-Hertkorn_WZS_Straubing_-_2._Beitrag.pdf).
- Walther, K. (2021): „Klimaneutrales Stadtquartier Neue Weststadt“. Abgerufen 08.10.2021 von https://www.esslingen.de/start/es_themen/eswestp2g2p.html.
- Wanner, O. (2009): „Wärmerückgewinnung aus Abwasser“. In: *Schriftenreihe der Eawag*. 19.
- Wärmepumpe-Regional (2020): „Stadtgärten am Henniger Turm heizen mit Solar- und Erdwärme“. Abgerufen 08.10.2021 von <https://www.waermepumpe-regional.de/frankfurt-am-main/stadtgaerten-am-henniger-turm-heizen-mit-solar-und-erdwaerme>.
- Wasielewski, S., Gottardo Morandi, C., Mouarkech, K., Minke, R., Steinmetz, H. (2017): „Impacts of blackwater co-digestion on biogas production in the municipal wastewater treatment sector using pilot-scale UASB and CSTR reactors“. In: *DESALINATION AND WATER TREATMENT*. 91, S. 121–128, doi: [10.5004/dwt.2017.21236](https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21236).
- Weinhold, Weber, Ullrich (2018): „Auto liefert Strom“. Abgerufen 20.03.2020 von <https://www.erneuerbareenergien.de/archiv/wenn-das-auto-strom-liefert-150-437-107142.html>.
- Wendland, C., Deegener, S., Behrendt, J., Toshev, P., Otterpohl, R. (2007): „Anaerobic digestion of blackwater from vacuum toilets and kitchen refuse in a continuous stirred tank reactor (CSTR)“. In: *Water Science and Technology*. 55 (7), S. 187–194, doi: [10.2166/wst.2007.144](https://doi.org/10.2166/wst.2007.144).
- Wesselak, V., Schabbach, T., Fischer, J., Link, T. (2017): *Handbuch Regenerative Energietechnik*. 3. Auflage. Berlin and Heidelberg: Springer Vieweg doi: [10.1007/978-3-662-53073-3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53073-3).
- Wesselak, V., Voswinckel, S. (2016): *Photovoltaik: Wie Sonne zu Strom wird*. 2. Auflage. Berlin and Heidelberg: Springer (Technik im Fokus).
- Wiemann, M. (2020): „Energy-Web-Foundation“. Abgerufen 25.03.2020 von <https://www.energiewirtschaft-blockchain.de/projekte/energy-web-foundation-blockchain/>.
- Willing, S. (2020): „innogy.com“. Abgerufen 20.04.2020 von <https://iam.innogy.com/ueber-innogy/innogy-innovation-technik/smart-grids/smart-operator>.
- Winkelmann, Klima (2015): „Demand Response Maßnahmen“. Abgerufen 27.04.2020 von <http://www.wi2015.uni-osnabrueck.de/Files/WI2015-D-14-00324.pdf>.
- Winner (2020): „Winner Projekt“. Abgerufen 19.03.2020 von <https://www.winner-projekt.de/>.
- Wirth, H., Fraunhofer ISE (2021): „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“. Abgerufen 08.10.2021 von <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>.
- Wriege-Bechtold, A. (2015): „Anaerobe Behandlung von Braunwasser und Klärschlamm unter Berücksichtigung von Co-Substraten“. (Dissertation) Berlin.
- WSWU, Umwelt (WSWU), W.S.W. und (Hrsg.) (2015): *Neuartige Sanitärsysteme: Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau-, und Regenwasser, Stoffliche Nutzung*. 2. Aufl. Kromsdorf: Bauhaus-Universitätsverlag als Imprint von VDG Weimar.
- Zandee et. al. (2011): *Low-cost Struvite Reactor Construction Manual*. Eawag, UN-HABITAT.
- Zapf, M. (2017): *Stromspeicher und Power-to-Gas im deutschen Energiesystem: Rahmenbedingungen, Bedarf und Einsatzmöglichkeiten*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Zeeman, G., Kujawa-Roeleveld, K. (2013): „Anaerobic treatment of source-separated domestic wastewater“. In: *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*. London: IWA Publishing.
- Zeeman, G., Lettinga, G. (1999): „The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level“. In: *Water Science and Technology*. 39 (5), doi: [10.1016/S0273-1223\(99\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00101-8).
- Zirkelbach, D. (2017): „Green roofs– hygrothermal simulation of moisture and energy performance“. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future*. Zadar, Kroatien S. 810–815.
- Zoerner, T., Kassebaum, M., Schwarzbeck, F. (2020): *Energiewelt getrieben durch Blockchain*. Berlin: Begleitforschung Smart Service Welt II.
- ZVDH (2016): *Regeln für Abdichtungen - Flachdachrichtlinie*. 9. Aufl. Köln.