

REWATERCITY · FACHVERANSTALTUNG · 29. JULI 2026 · KULTURINSEL STUTTGART

Adiabate Kühlung als Baustein klimaresilienter Städte

Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Wassersensible Stadtentwicklung — Lösungen für die klimaresiliente Stadt von morgen“

ECO Water Solutions GmbH · Die Experten für Ungeklärtes · Mit Anhang: Thermodynamik, Glossar, Quellen



Addiabate Kühlung – bewährt seit Jahrtausenden



ANTIKES PERSIEN – ab ca. 500 v. Chr.



RÖMISCHE STÄDTE – ca. 1. Jh. n. Chr.



ISLAMISCHE ARCHITEKTUR – ab 7. Jh.



19. JAHRHUNDERT – Industrialisierung



HEUTE – FASSADENBEGRÜNUNG



HEUTE – INTENSIV BEGRÜNTÉ DÄCHER



HEUTE – ADIABATE RLT-ANLAGEN



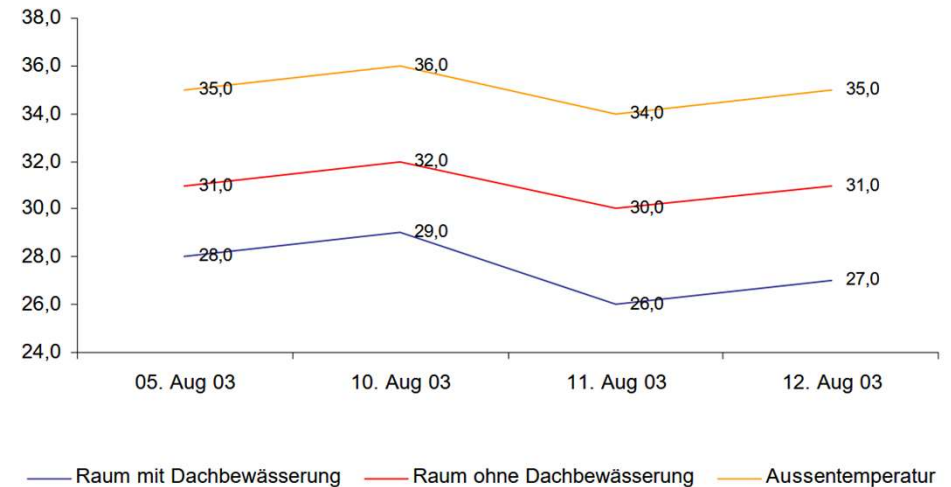
HEUTE – WASSER IM STADTRAUM



Eigene Erfahrungen 2012 – Dachkühlung mit Regenwasser



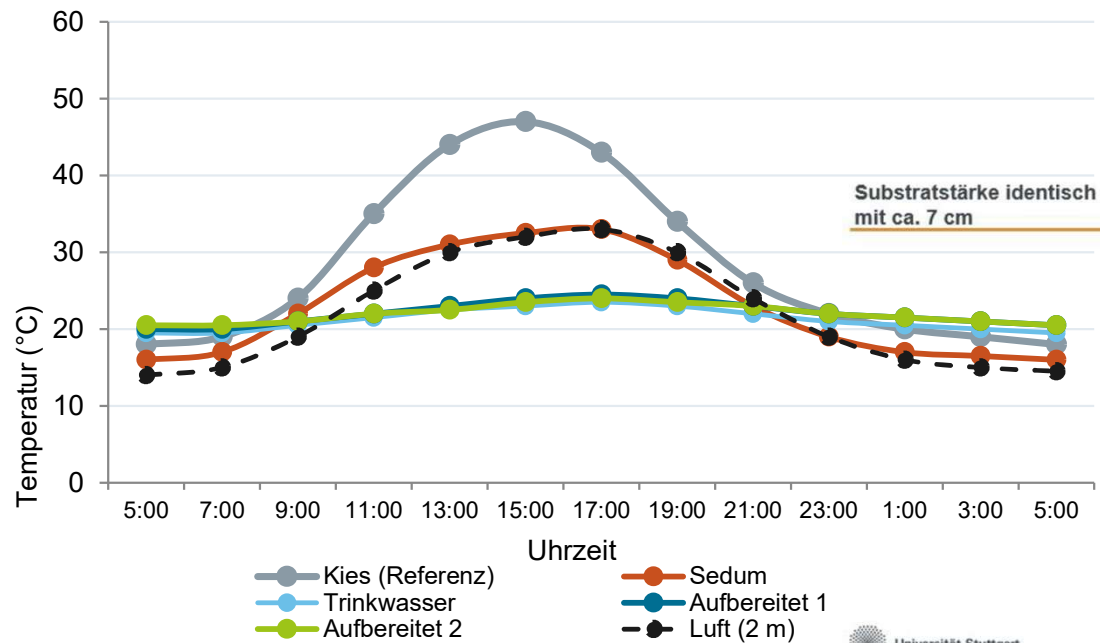
Tagestemperaturen im Durchschnitt



- $1\text{l/m}^2/\text{Tag}$ Wasserverdunstung $\approx 0,68\text{ kWh/m}^2/\text{Tag}$
- 18-41% Energieeinsparung zu Klimaanlage
- 20 % der Kühlleistung als messbare Wärmereduktion direkt über das Dach
- $\rightarrow$ analog zu modernem Klimagerät (SEER=7,25): 1m^3 Verdunstung $\approx 18\text{ kWh Strom}$
- $\rightarrow$ Ca. 80% der Verdunstungsenthalpie werden an Umgebung abgegeben $\approx 544\text{ kWh Umgebungskühlung}$



Eigene Erfahrungen 2021– Dachkühlung mit Abwasser



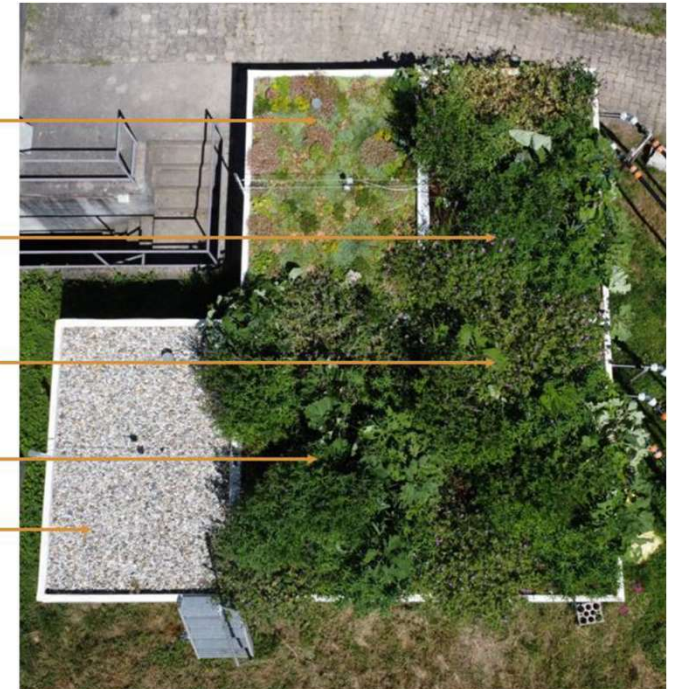
TF4 – Sedum
Keine
Dauerbewässerung

TF3 – TW: Trinkwasser
Dauerbewässerung

TF2 – AW2: Abwasser 2
Dauerbewässerung

TF1 – AW1 Abwasser 1
Dauerbewässerung

TF0 – Kies
Keine
Dauerbewässerung



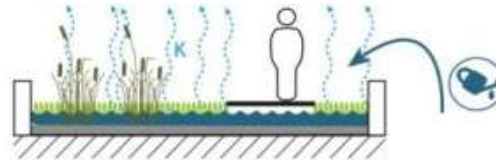
- 8 l/m²/d Intensive Bewässerung
- bis zu 20 °C niedrigere Substrattemperatur gegenüber dem konventionellen Kiesdach
- dauerbewässerte Dachbegrünung nur 8 statt 30 cm Substrathöhe
- Der konstante Zufluss von gereinigtem Abwasser garantiert maximale Verdunstung — selbst in Dürreperioden.



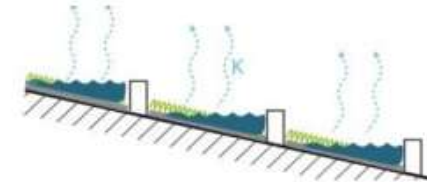
Verdunstungskühlung

Zunahme der Effektivität zur urbanen Kühlung und Rückhaltung

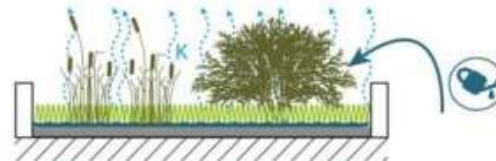
Wassergärten
begehbare,
dauerstaunasse
Dachflächen als kühle
Räume in der Stadt



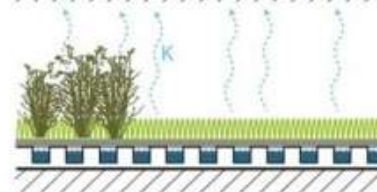
Sonderform:
Dach mit stärkerer
Neigung



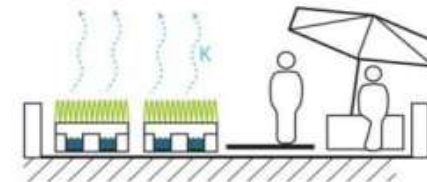
Blaugrünes Dach
dauerstaunasse
Dachfläche,
verdunstungsstarke
Pflanzen



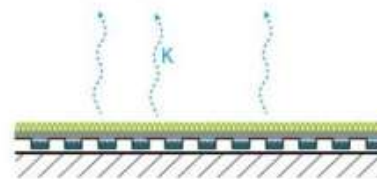
Grünes Dach (intensiv)
Intensivdach mit
Retentionsfunktion



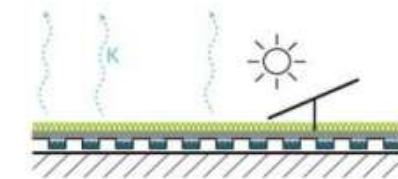
Sonderform:
Dachgärten und
-terrassen
(Mehrfachnutzung)



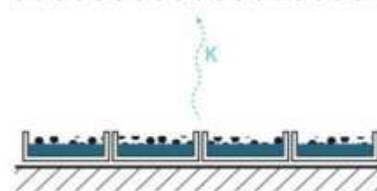
Grünes Dach (extensiv)
Extensivdach mit
Retentionsfunktion



Sonderform:
Dachbegrünung und
Photovoltaik



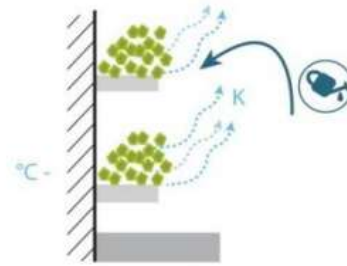
Blaues Dach
Kiesdach mit
Retentionsleistung



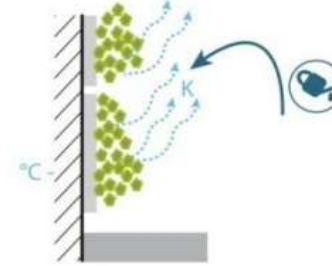
Verdunstungskühlung

Zunahme der Effektivität zur
urbanen Kühlung und Rückhaltung

Bewässerung
fassadengebundene
Begrünung mit
Bewässerung



horizontale Begrünung



vertikale Begrünung

Begrünung
bodengebundene
Fassadenbegrünung



Begrünung Hauswand



vorgehängte Begrünung

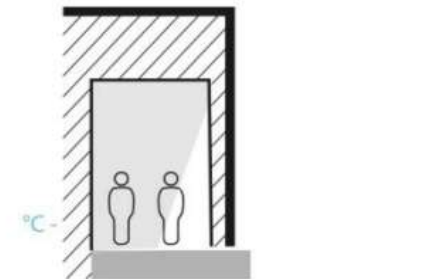
Verschattung



aktiv verschattete Fassade



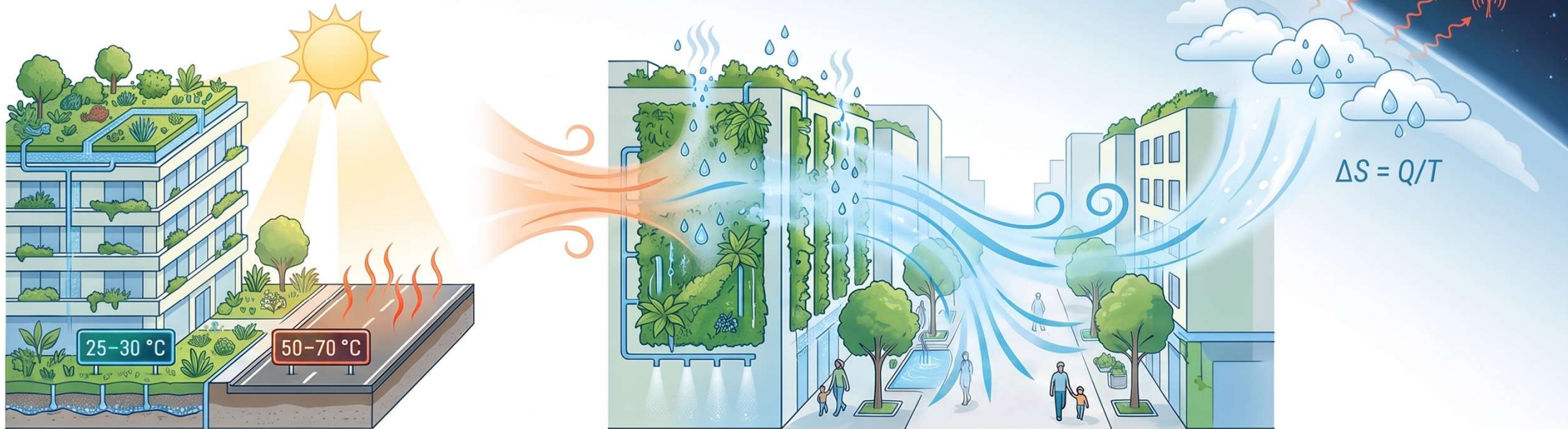
passiv verschattete Fassade/Baum



passiv verschattete Fassade/Arkaden

Wie sich das Quartier abkühlt:

Die Kausalkette der adiabaten Kühlung



1. Dach & Boden: Keine Wärmespeicherung

Auf feuchten, begrünten Flächen bricht die Sonnenenergie Wasserstoffbrücken im Wasser auf, statt Beton zu erhitzen. Die Oberflächentemperatur bleibt bei 25–30 °C, während Asphalt sich auf 50–70 °C aufheizt (kein „Heizkörper-Effekt“).

2. Luft & Fassade: Wärmeentzug aus der Luft

Warme Luft streicht an kühlem Pflanzenwasser vorbei; gemäß dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik fließt Wärme von warm nach kalt und treibt die Verdunstung an, wodurch die Lufttemperatur messbar sinkt.

3. Straßenraum: Dichte-Zirkulation & Kühlverteilung

Die abgekühlte Luft ist dichter und sinkt in die Straßenträume ab, lokale Druckunterschiede erzeugen zusätzliche Flurwinde, die die Kühle bodennah verteilen und für Passanten direkt spürbar machen.

4. Bis ins All: Entropie-Export

Leichter Wasserdampf steigt konvektiv auf und kondensiert; die freie Wärme wird schließlich als Infrarotstrahlung (bei ca. 220 K) ins Weltall abgeführt, wodurch die Energie das Quartier endgültig verlässt.



Woher kommt die Kühle?

Kühle ist kein eigenständiges Produkt, sondern der Zustand der Luft nach dem physikalischen Wärmeentzug.



Wohin geht die Wärme?

Die Wärme wird im Wasserdampf nach oben transportiert und entweicht als Infrarotstrahlung in den Weltraum.

Die Lösung: Wärme exportieren statt verschieben

1 Energiebindung am Boden ($\approx 300\text{ K}$) Verdunstung wandelt sensible Wärme direkt vor Ort in latente Wärme um — die Oberfläche bleibt kühl.

2 Vertikaler Transport Der aufsteigende Wasserdampf trägt die gebundene Energie durch Konvektion in höhere Atmosphärenschichten.

3 Entropie-Export ($\approx 220\text{ K}$) In der Troposphäre kondensiert der Wasserdampf; die freigesetzte Wärme wird als Infrarotstrahlung in den Weltraum abgeführt.

1 m³ $\approx$ 680 kWh

Kühlleistung pro verdunstetem Kubikmeter Wasser ($r \approx 2.450\text{ kJ/kg}$ bei 20 °C)

Zwei Wege, ein Ziel — thermodynamisch gesehen:

	Klimaanlage	Verdunstung
Wärme	verschoben	exportiert
Strombedarf	hoch	minimal
Nebeneffekt	Abwärme in der Stadt	kühlt das Quartier



Urbane Hitze: ein Defekt, der Milliarden kostet

bis zu +10 °C

nächtlicher Temperaturüberschuss der Stadt gegenüber dem Umland (Urban Heat Island)

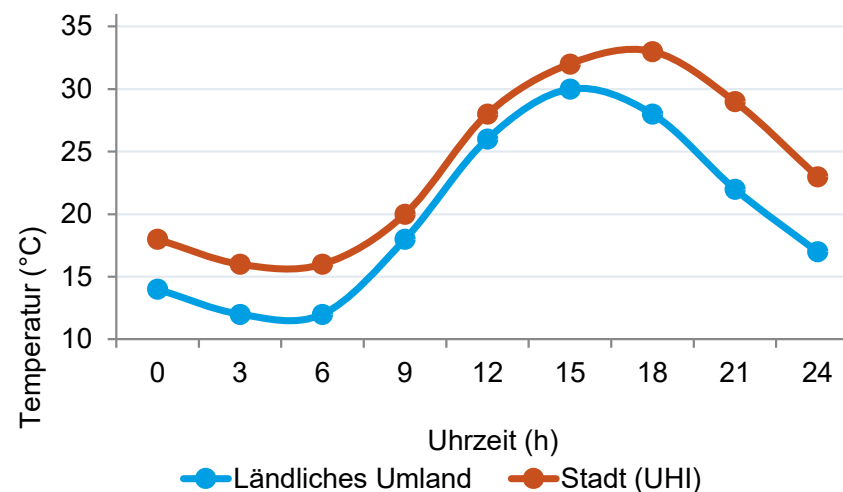
≈ 3 % je Grad

Produktivitätsverlust pro zusätzlichem Grad über der 30-°C-Schwelle; Energiekosten +1,2 % je Grad

bis 2030 ≈ 113 Mrd. €

mögliche kumulierte Wirtschaftsverluste in Deutschland durch Hitzewellen (Allianz Trade, 2026)

Tagesgang: Stadt bleibt nachts warm (schematisch)



Schematischer Verlauf: Die gespeicherte sensible Wärme wird nachts abgegeben — die Stadt kühlt nicht mehr ab.



Kühlen braucht Wasser

Der Zielkonflikt

Steigender Kühlbedarf - Adiabate Kühlung im Stadtmaßstab erfordert an Hitzetagen große, kontinuierliche Wassermengen — genau dann, wenn Wasser am knappsten ist.

Trinkwasser ist keine Option - Kostbares Trinkwasser für Kühlung ist angesichts zunehmender Trockenperioden ökologisch, ökonomisch und politisch nicht angemessen.

Regenwasser reicht nicht - Eine nach DIN bemessene Zisterne reicht an Hitzetagen oft nur für 1–2 l/m² Dachbewässerung. Auf einer intensive Dachbegrünung können 8 l/m² verdunsten.

Beispielrechnung: eines Bürogebäudes

Annahme	Wert
Bewässerte Fläche (Dach, Fassade, Hof)	1.000 m ²
Verdunstung an Hitzetagen (ET ₀)	≈ 5 mm/d
Wasserbedarf pro Hitzetag	≈ 5 m ³ /d
30 Hitzetage pro Sommer	≈ 150 m ³
Regenwasserzisterne nach DIN	≈ 50 m ³

Die Gegenrechnung: 150 m³ × 680 kWh/m³ ≈ **100 MWh Kühlleistung** pro Sommer — Wasser ist der Energieträger der Stadt.





ecowater
solution

Die Experten für Ungeklärtes

Abwasser

Die bisher ungenutzte Ressource

Vergleich verfügbarer Wasserquellen

Trinkwasser



- "Kontinuierlich vorhanden"
- **Bewässerungsverbot in Hitzeperioden**
- Gebühren 2023 Stuttgart: 3,19 €/m³
(1,73 €/m³ Abwasser)



Regenwasser

- Abhängig von Niederschlagsereignissen
- Sehr geringe Betriebskosten
- **Großer Platzbedarf**

Abwasser



- Kontinuierlich vorhanden (121 l pro Einwohner und Tag)

BioTopp Wasserwiederverwendungssystem

z.B. 50 Einwohner Anlage mit Ablauffiltration und UV

- **8 m³/d Güteklasse A Bewässerungswasser**
- **Betriebskosten ca. 3,10 €/m³**
- **Platzbedarf gering**



BioTopp-System

■ Die kompakteste Kleinkläranlage und einziges System mit integrierter Schlammbehandlung

- Bis zu 50% geringere Behältervolumen

50 EW Anlagenvergleich	
BioTopp	20,3 m ³
Wettbewerber A	38,6 m ³
Wettbewerber K	32,5 m ³
Wettbewerber M	32 m ³

■ Höchste Reinigungsleistung

- Verfahrensgeführte Denitrifikation
- Biologische Phosphorelimination (BioP)

■ Intelligente Technik

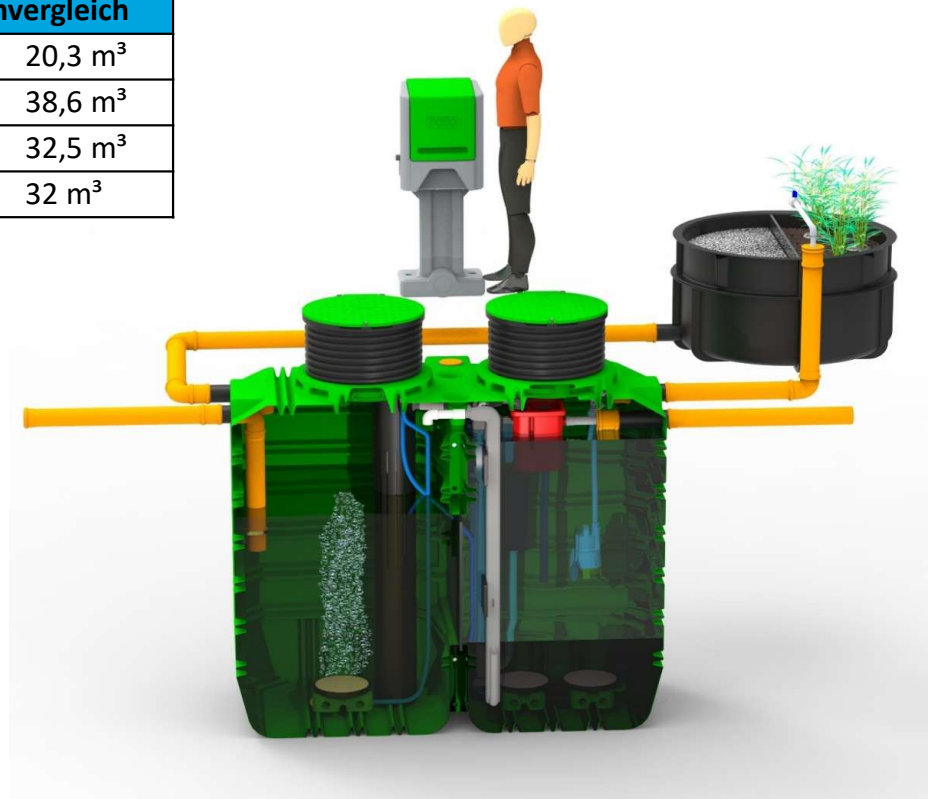
- Adaptive Aufbereitung von hoher und niedriger Fracht
- IoT-Steuerung (Fernwartung über GSM oder WLAN)

■ Keine Fäkalschlamm Entsorgung erforderlich

- Schlammvererdung (Trocknung und Mineralisation)
- 1-4 kg Schlamm Erde pro Person im Jahr

■ Keine Geruchsemissionen

- Vollbelüftete Belebungsbecken
- Hoher Stabilisierungsgrad des belebten Schlammes



Beispielbild: BioTopp Kleinkläranlage für 14 Personen
in einem 6 m³ Kunststofftank

BioTopp – von der Abwasserreinigung zur Wasserwiederverwendung



■ Optionale Module zur weitergehenden Reinigung

- Abauffiltration (Polzeifilter)
- Abauffiltration mit Rezirkulation (Nachreinigung)
- Turbidex-Filtration (weitergehende Aufbereitung)
- Aktivkohle und Ozonisierung (Spurenstoffentfernung)
- UV-Hygienisierung

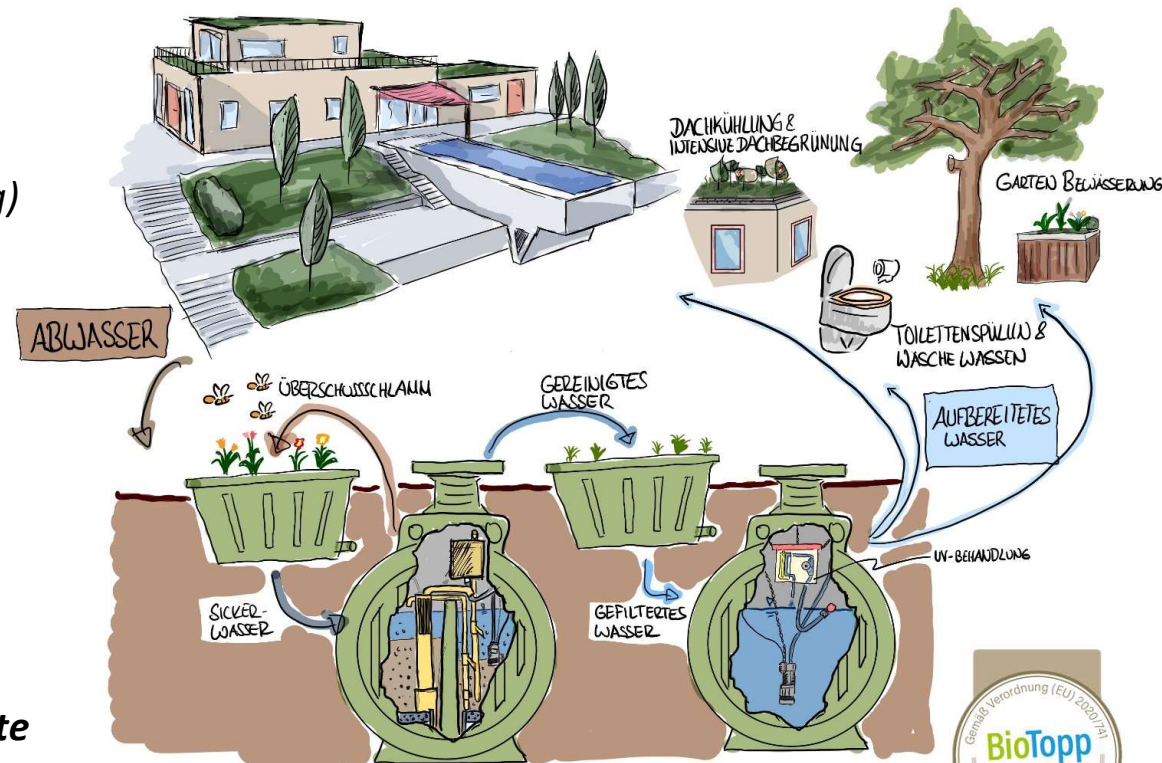
➤ Toilettenspülung

➤ Gebäude Kühlung (adiabate Kühlung)

➤ Garten Bewässerung

➤ Bewässerung von Nahrungspflanzen (Güteklasse A nach EU-Verordnung 2020/741)

■ Skalierbar und sinnvoll bis 5000 Einwohnergleichwerte (kleine kommunale Kläranlagen)



Schematische Darstellung BioTopp Wasserwiederverwendungssystem



Wasserwiederverwendungspotential im Gebäude

Durchschnittswerte für den Wasserverbrauch:

- **Bürogebäude:** Laut verschiedenen Studien liegt der Wasserverbrauch in Büro- und Verwaltungsgebäuden in Deutschland im Durchschnitt bei **20 bis 50 Litern pro Person und Tag**.
- **Gebäude mit intensiver Nutzung** (z. B. öffentliche Verwaltungen, Schulen oder große Bürokomplexe) können höhere Werte aufweisen, oft **bis zu 100 Liter pro Person und Tag**, insbesondere wenn zusätzliche Sanitäreanlagen oder Kantinen vorhanden sind.
- **Haushalte und Kleingewerbe:** **121 Liter pro Person und Tag** (Stand 2023)

Büro & Verwaltungsgebäude	Verwendung	Haushalte
50%	 Toilettenspülung	27%
15%	 Körperpflege  	36%
	Wäschewaschen 	12%
20%	 Küche: Geschirrspülen, Essen & Trinken 	10%
10%	 Reinigung	6%
	Anteil Kleingewerbe	9%
60%	Summe Trinkwassereinsparung	45%
40%	Überschüssiges aufbereitetes Wasser z.B. Verwendbar für die Gebäudekühlung	55%



„Im Wohnungs- und Wirtschaftsbau entfallen rund 70 % der Baumaßnahmen auf den Bestand, während nur etwa 30 % Neubauprojekte sind“

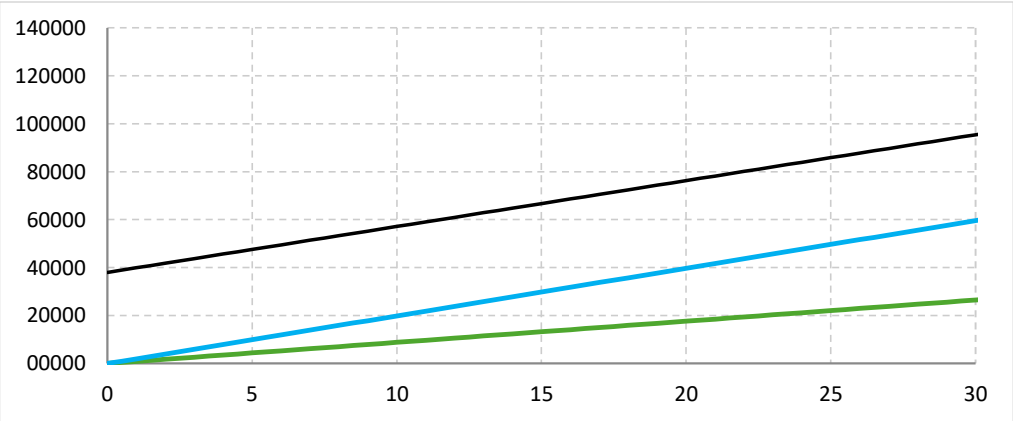
Trinkwasser nötig

Brauchwasser möglich

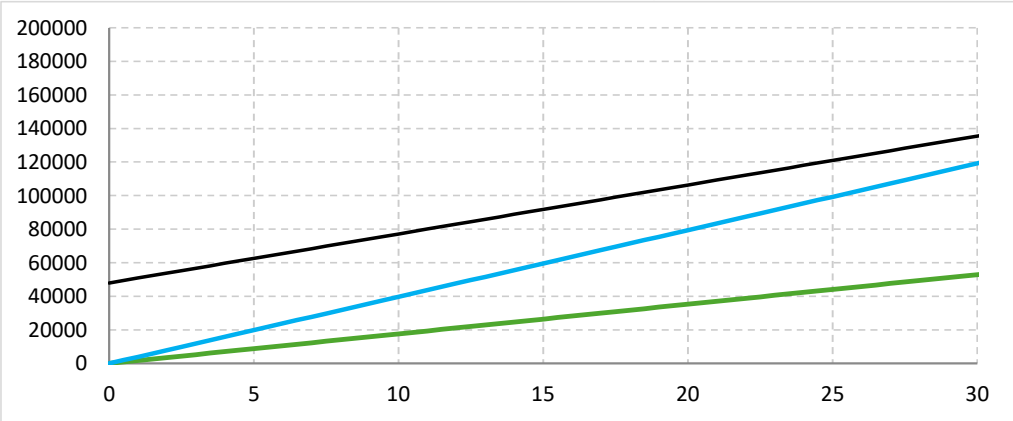
Amortisationszeiten



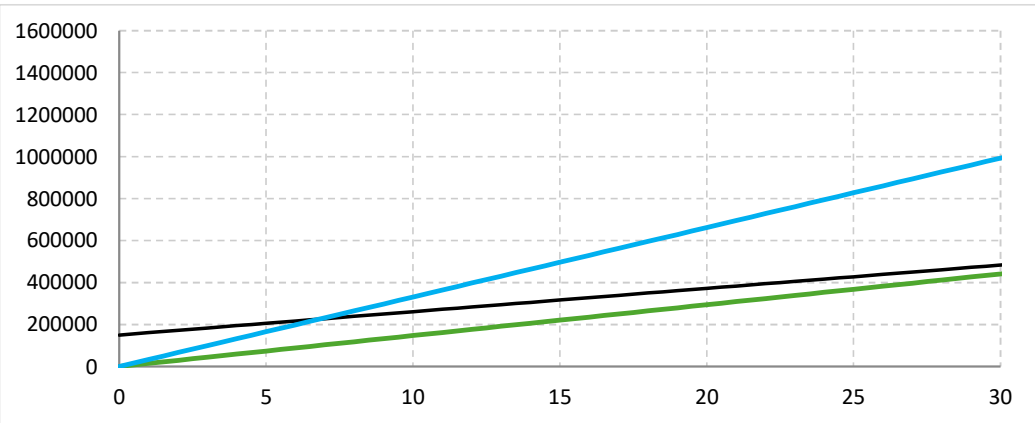
6 EW · 5 m² Anhänger



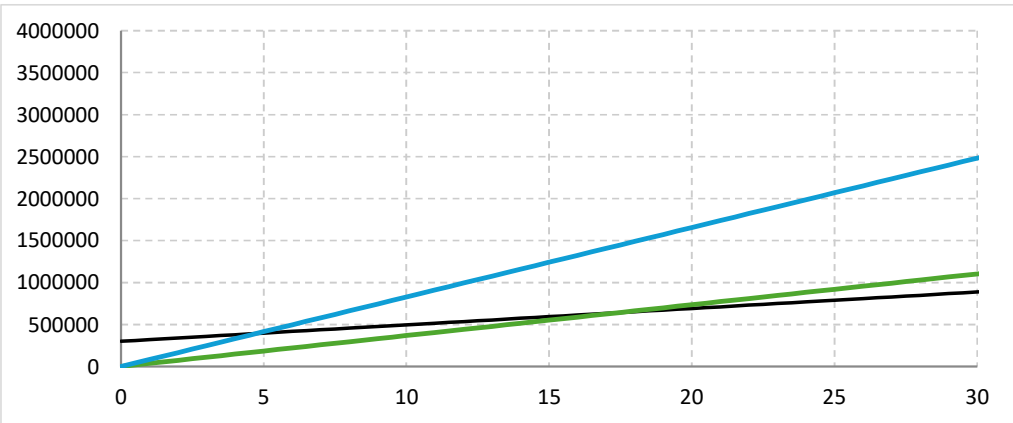
12 EW · 10 m² Anhänger



100 EW · 1 Seecontainer



250 EW · 2 Seecontainer



Kumulierte Gesamtkosten

Bruttoeinsparung ohne Kühlung

Bruttoeinsparung mit Kühlung

Wasserpreis bei 15 Jahre Amortisationsdauer

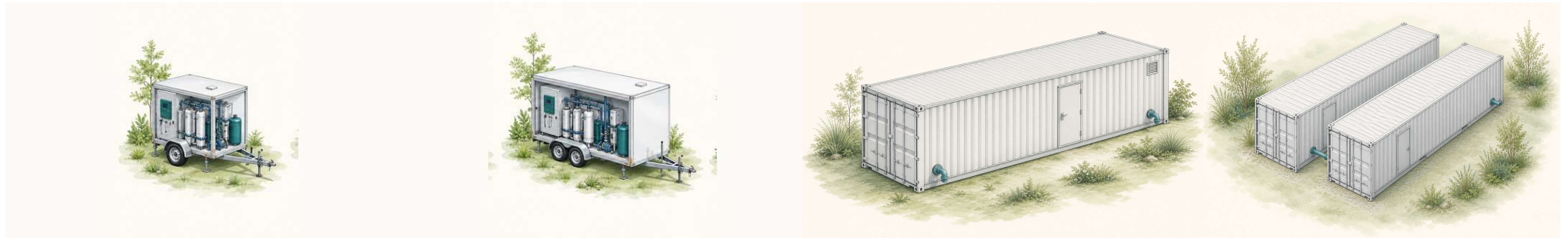
Theoretischer Wasserpreis unter Berücksichtigung von Trinkwasser- und Abwasserkosten; Kühlleistung nicht berücksichtigt.

6 EW · 5 m² Anhänger
28,20 €/m³

12 EW · 10 m² Anhänger
19,40 €/m³

100 EW · 1 Seecontainer
8,03 €/m³

250 EW · 2 Seecontainer
6,02 €/m³



- 250 EW → wirtschaftlich attraktiv
- 100 EW → wirtschaftlich interessant
- 12 EW → Pilotprojekte, Spezialanwendungen
- 6 EW → nur bei Sondersituationen
z.B. akutem Wassermangel
z.B. Wasserrechtlichen Einschränkungen

Wassertransportkosten (12m² Fasswagen, 10 km einfach

Situation	Richtpreis Wasser am Verbrauchsort
Normalbetrieb	ca. 13–18 €/m ³
Wasserstress (längere Wartezeiten, weitere Entnahmewege)	ca. 18–30 €/m ³
Wassernotstand (große Entfernungen, eingeschränkte Wasserentnahme)	ca. 30–60 €/m ³ oder mehr





ecowater
solution

Die Experten für Ungeklärtes

Kontakt:

ECO Water Solution GmbH

Abwasser- Kreislauf- und Umwelttechnik

Neue Weilheimer Straße 14
73230 Kirchheim unter Teck
Deutschland

Dominik Neusch

Tel.: +49 7021 73281 60

Mobil: +49 176 550 074 02

dominik.neusch@ecowatersolution.de

www.ecowatersolution.de