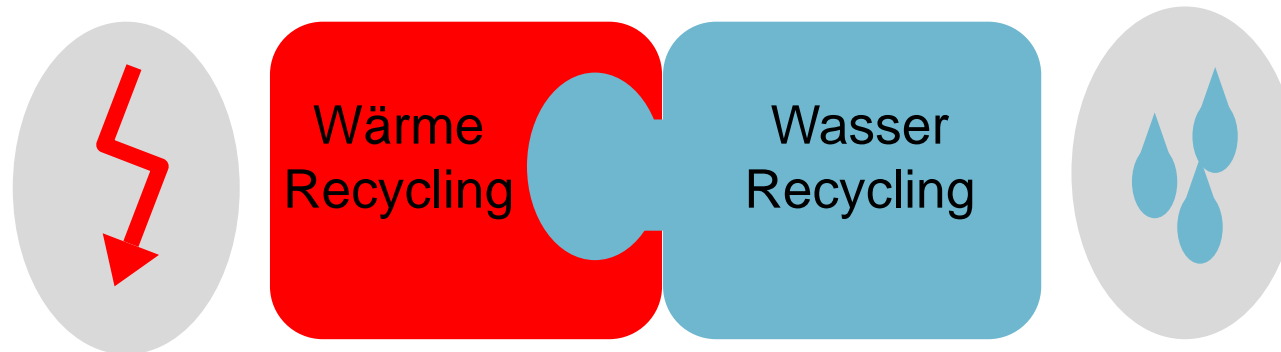


Grauwasser und Wärme – zweifache Wiederverwertung für verbesserte Nachhaltigkeit



Ökologische Bewertung des AQUALOOP Systems

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
(Fraunhofer ISI), Karlsruhe**

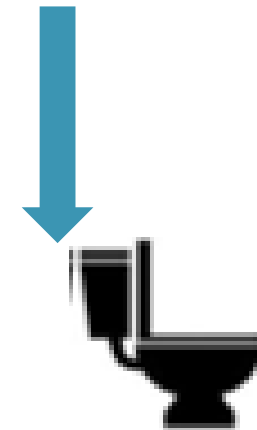
Dr. Eve Menger-Krug, Dr. Jutta Niederste-Hollenberg, Dr. Thomas Hillenbrand,
Thorsten Hummen, Ulrike Feldmann, Angelina Pavon Garcia
August 2015

Einleitung



- Bei jeder Dusche verschwinden wertvolles Wasser und Wärme im Abfluss
- Die Lösung: intelligentes und ganzheitliches Recycling von **Wasser** und **Wärme**
- **Wasserressource**: Grauwasser ist eine ideale Ressource für Wasserrecycling
 - Die Fracht an organischen Stoffen und Schadstoffen ist im Vergleich zu Abwasser geringer
 - Die Substitution von Trinkwasser, z.B. für die Toilettenspülung, Gartenbewässerung und Waschmaschine, wird ermöglicht

- **Energieressource**: Grauwasser ist eine ideale Ressource für Wärmerecycling und für die Substitution fossiler Energieträger
 - Hohe Temperaturen das ganze Jahr über
 - 1 m³ Grauwasser substituiert bei einer Abkühlung von 10°C etwa 1 m³ Erdgas (~10 kWh)



Motivation

Wasser

- Mit AQUALOOP wird weniger Trinkwasser benötigt, da z.B. das Wasser für die Toilettenspülung und den Garten im Gebäude aus Grauwasser produziert wird (2nd use, downcycling)
- Weniger Druck auf wertvolle Wasserressourcen: auch wenn Deutschland ein relativ wasserreiches Land ist, sind unsere qualitativ hochwertigen Grundwasserressourcen steigendem Druck durch Übernutzung ausgesetzt. Dies erfordert u.a. immer tieferes Pumpen.
- Weniger Wasser muss in Wasserinfrastrukturen gepumpt und dort aufbereitet werden

Motivation

Energie

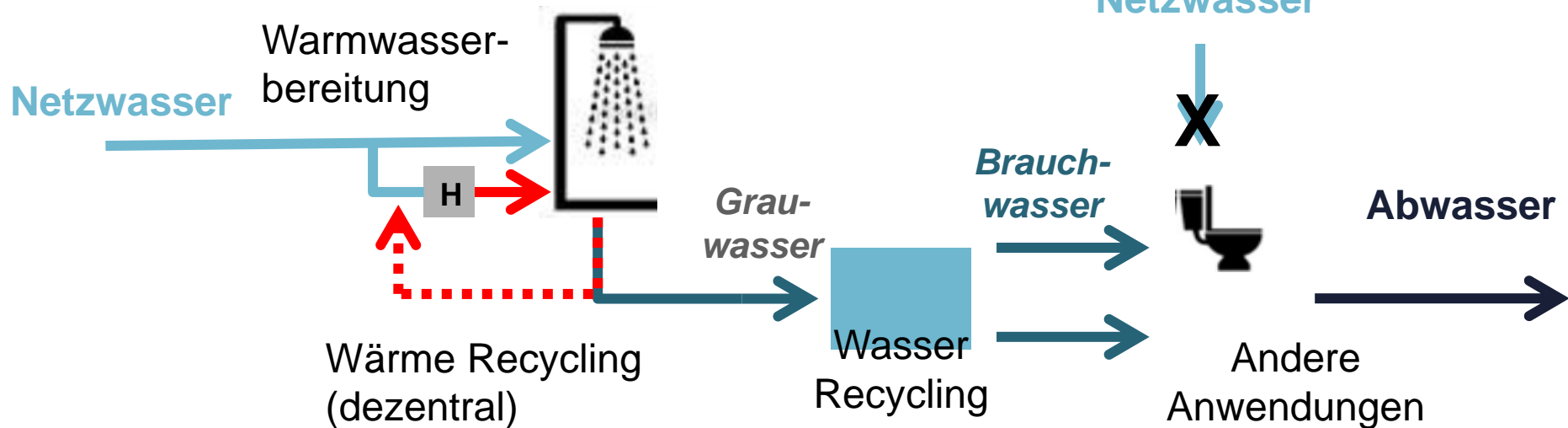
- Weniger thermische Energie für die Wassererwärmung wird benötigt, da Wärme aus Grauwasser sicher* auf kaltes Wasser übertragen wird (vor der Warmwasserbereitung im Boiler): die wiederverwendete Energie entspricht erneuerbarer Energie plus Einsparungen bei der Elektrizität, da weniger Wasser in Wasserinfrastrukturen gepumpt und dort aufbereitet werden muss (es wird aber zusätzlich Elektrizität für den Betrieb des AQUALOOP Systems benötigt) → weniger CO₂ Emissionen

Ökosysteme

- Weniger Abwasser mit geringerer thermischer Last erreicht die Fließgewässer. Dies bringt Vorteile für die Wasserressourcen und Ökosysteme mit sich.

Funktionsschema

AQUALOOP System



Ökologische
Bewertung
(Nutzungsphase)
(Lebenszyklus)

↓
Einsparungen
Wärme

↑
Energieverbrauch
Betrieb
und Bauphase

↓ ↓
Einsparungen Wasser und
Abwasser, damit verbundene
Energieeinsparungen

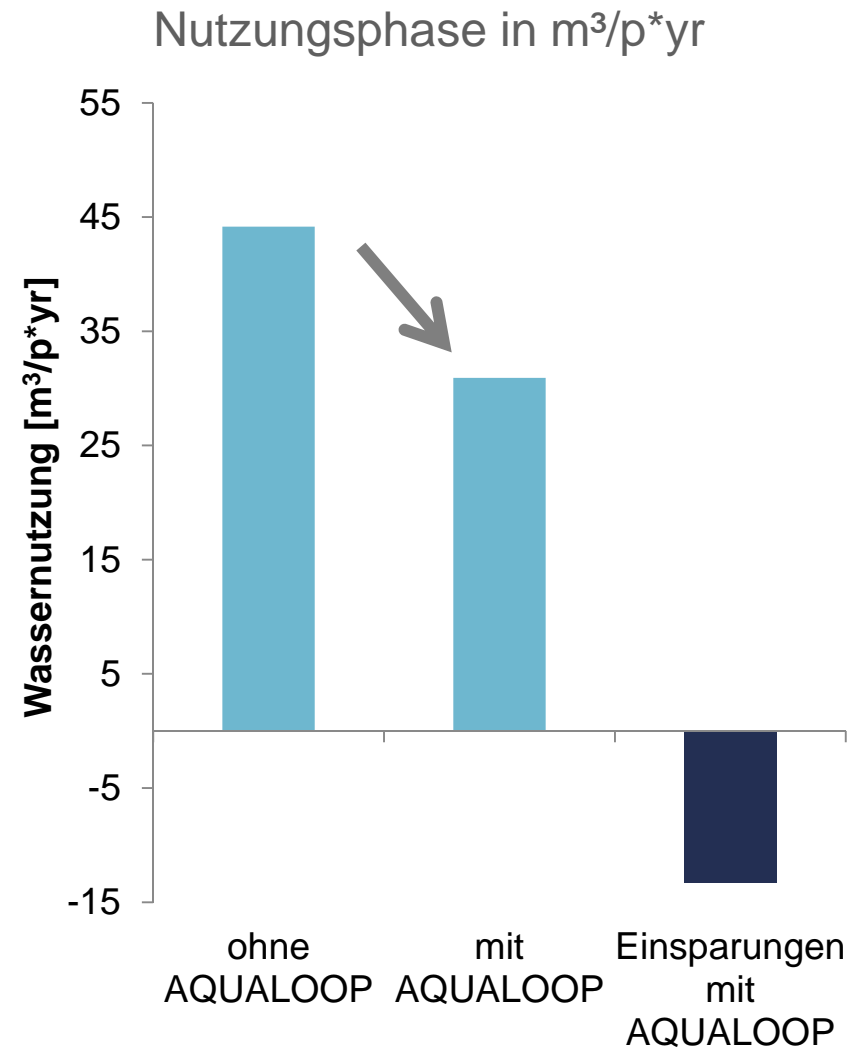
Nachhaltigkeit von AQUALOOP

Wie viel Wasser und Energie wird mit AQUALOOP gespart?

- Um die ökologische Nachhaltigkeit zu bewerten, erstellen wir:
 - Wasserbilanz
 - Energiebilanz
 - CO₂ Bilanzfür die Nutzungsphase von AQUALOOP
- Außerdem bewerten wir den vollen Lebenszyklus. Dieser umfasst:
 - die Produktion von Materialien, inklusive Verrohrung und Membranreinigung
 - die Herstellung von Komponenten
 - Materialrecycling
- Wir analysieren das AQUALOOP System in verschiedenen Einsatzgebieten:
 - Einfamilienhaus bis Hochhaus mit 100 Personen, Sporteinrichtung und Hotel

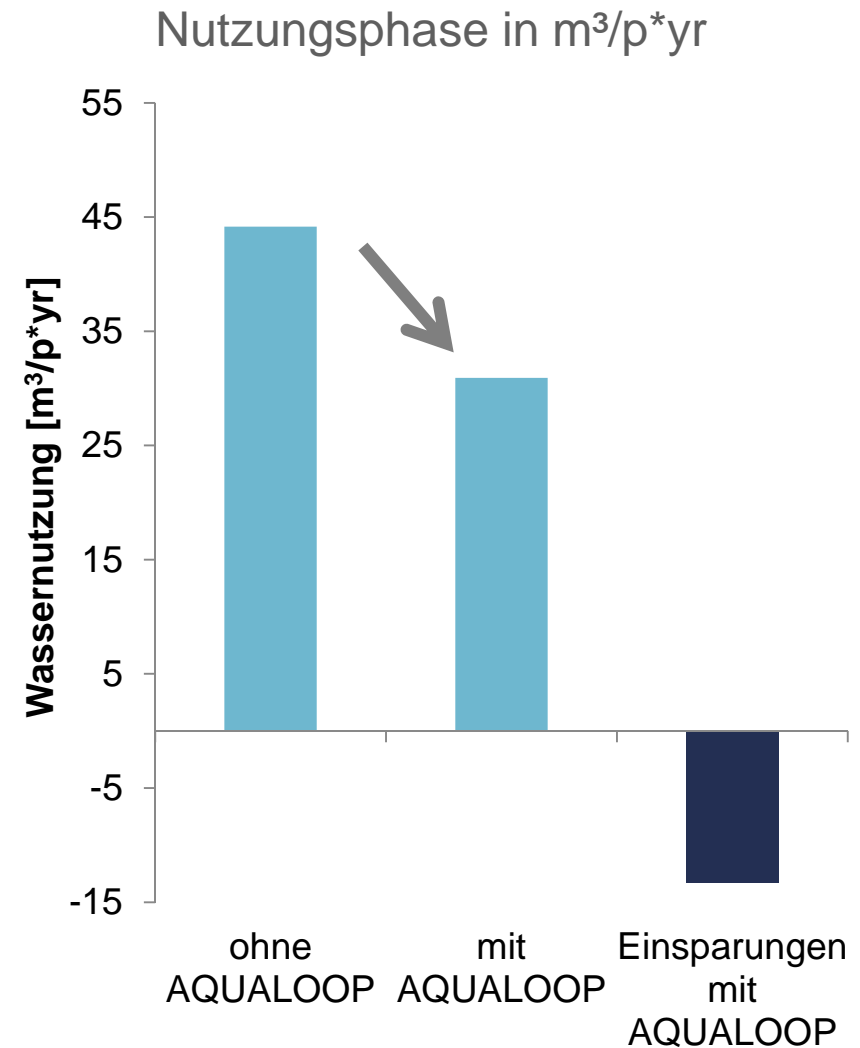
Wasserbilanz

- Erhebliche Einsparungen bei der Wassernutzung und folglich auch bei der Abwassergenerierung
- **12-18 m³** pro Person und Jahr oder **30%** der Wassernutzung
- **240- 360 m³** pro Person während einer Lebensdauer von 20 Jahren



Wasserbilanz

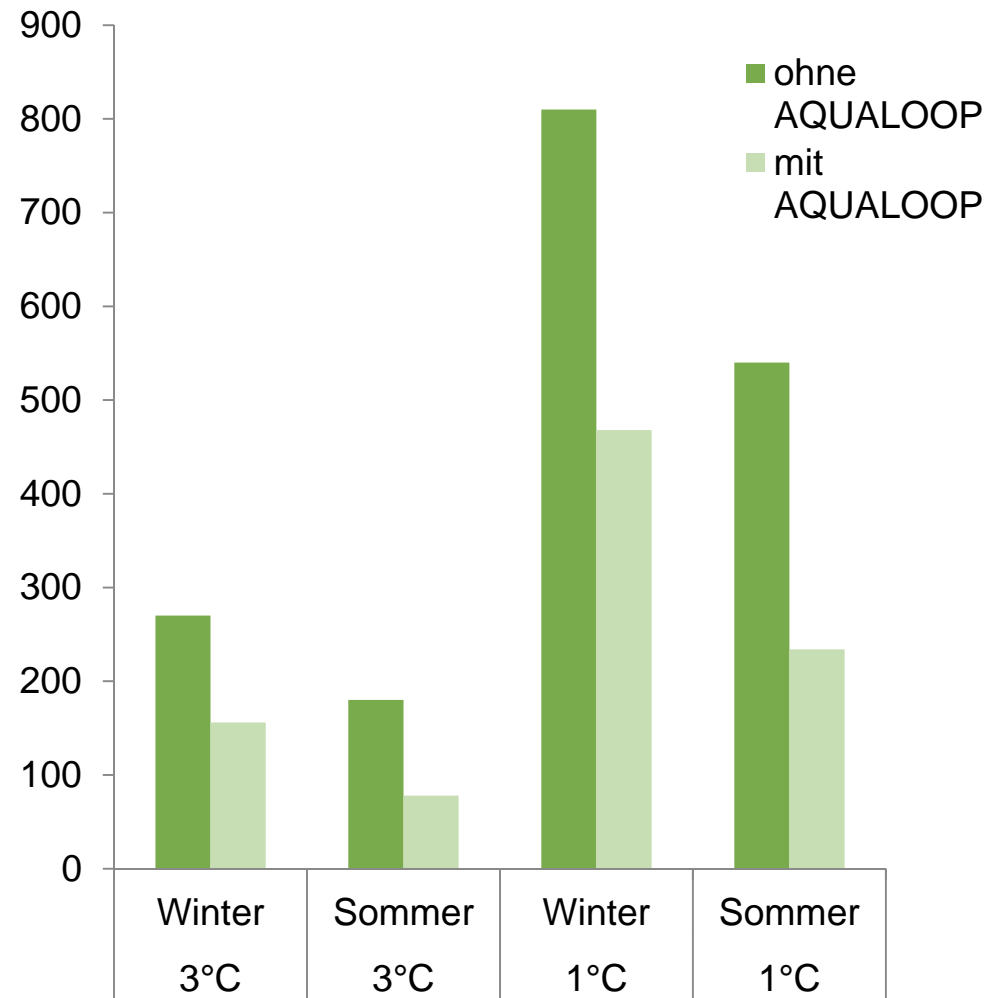
- Weniger Wasser muss in den Wasserinfrastrukturen gepumpt und dort aufbereitet werden
- Neben den Einsparungen bei Trinkwasser und Abwasser, können somit auch **Energie**einsparungen in den Wasserinfrastrukturen erzielt werden



Wasserbilanz

- Zusätzliche Auswirkungen sind Einsparungen von **Wasser im aufnehmenden Fluss**
- Wenn weniger Abwasser mit geringerer thermischer Fracht den Fluss erreicht, ist weniger Verdünnung nötig → Vorteile für Ökosysteme
- Die Menge hängt von dem maximal zulässigen Temperaturanstieg im Fluss ab (3°C Standardwert, 1°C für empfindliche Fließgewässer)

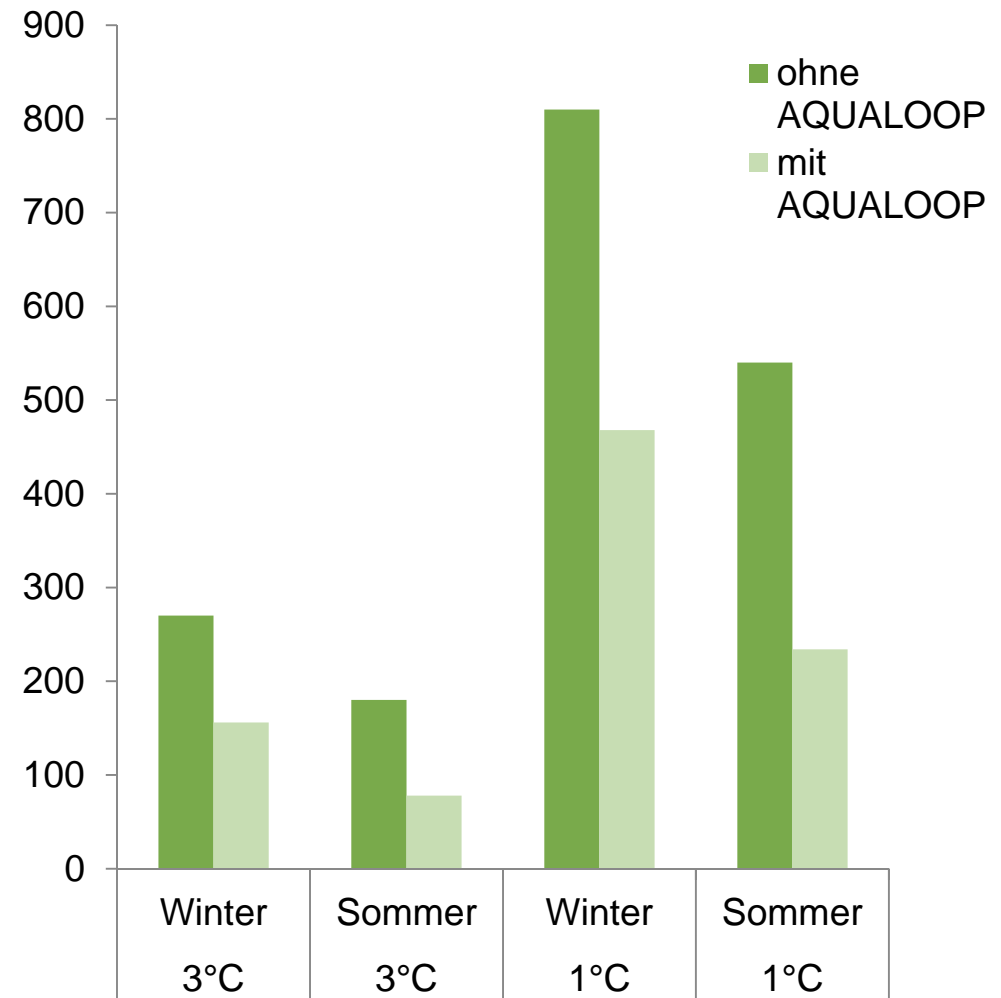
Nutzungsphase in m³/p*yr



Wasserbilanz

- Einsparungen: **100-250 m³** pro Person und Jahr oder **40-50%**
- **2000- 5000 m³** pro Person während einer Lebensdauer von 20 Jahren

Nutzungsphase in m³/p*yr



Wasserbilanz

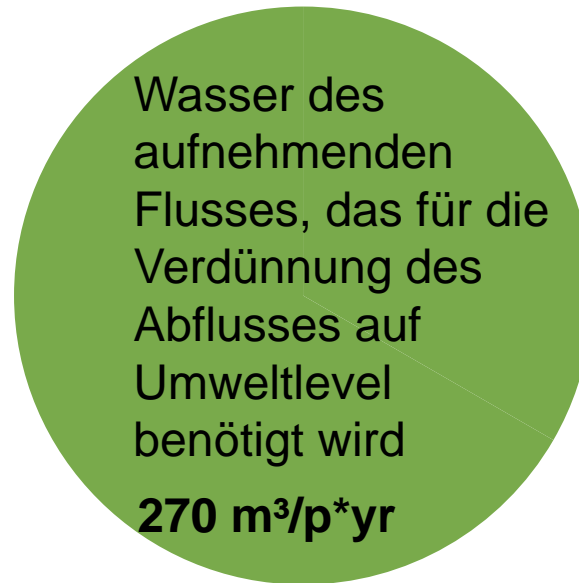
Ohne
AQUALOOP



Verluste ↓

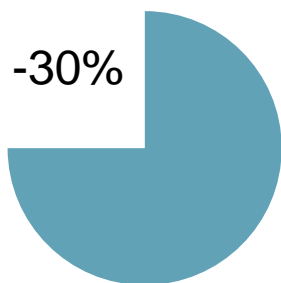


Regenwasser
+ Infiltration ↓

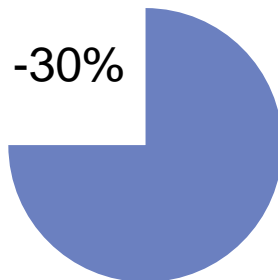


Mit
AQUALOOP

Weniger Druck auf
Wasserressourcen



Weniger Pumpen
und Aufbereitung



Weniger Abwasser mit
geringerer thermischer Fracht
erreicht den Fluss → weniger
Wasser für Verdünnung wird
benötigt (Vorteile für
Ökosysteme)

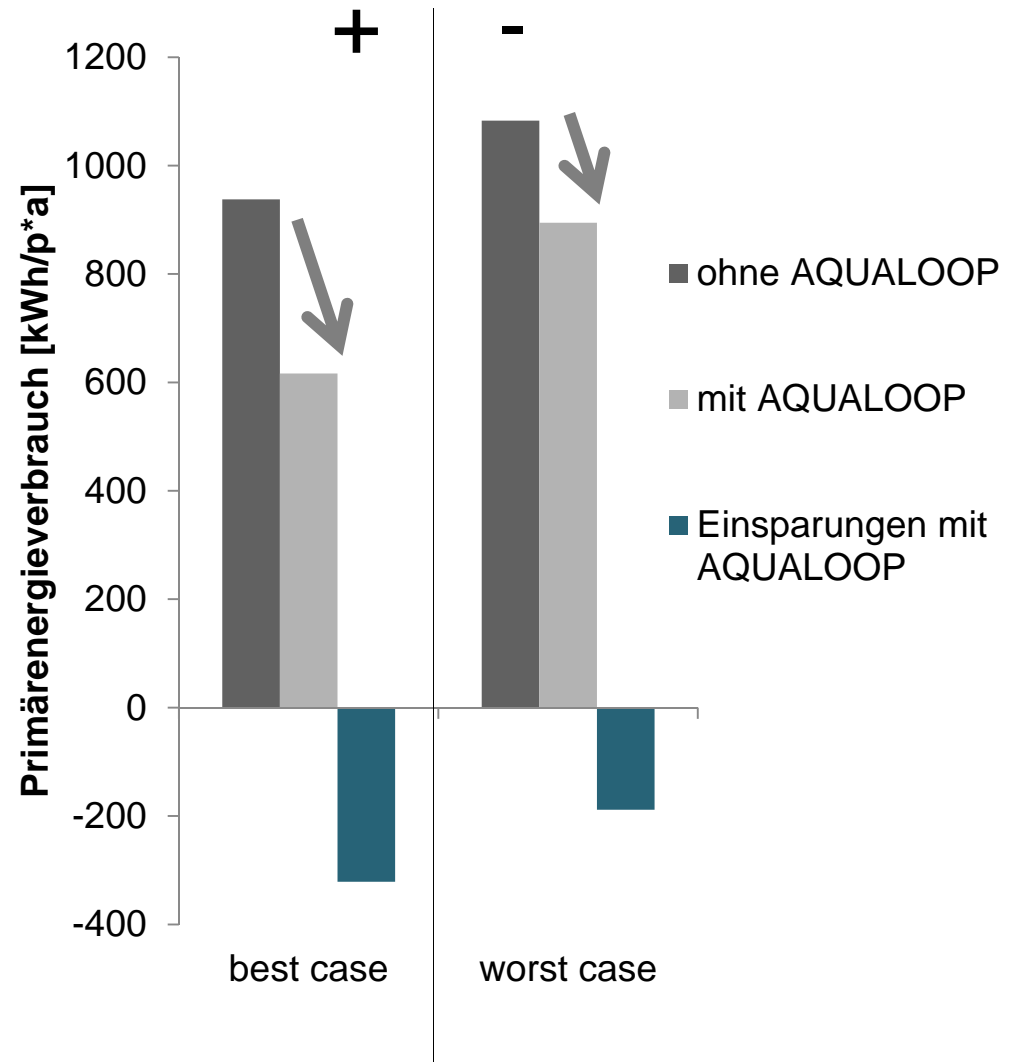
156 m³/p*yr

-42%

Energiebilanz

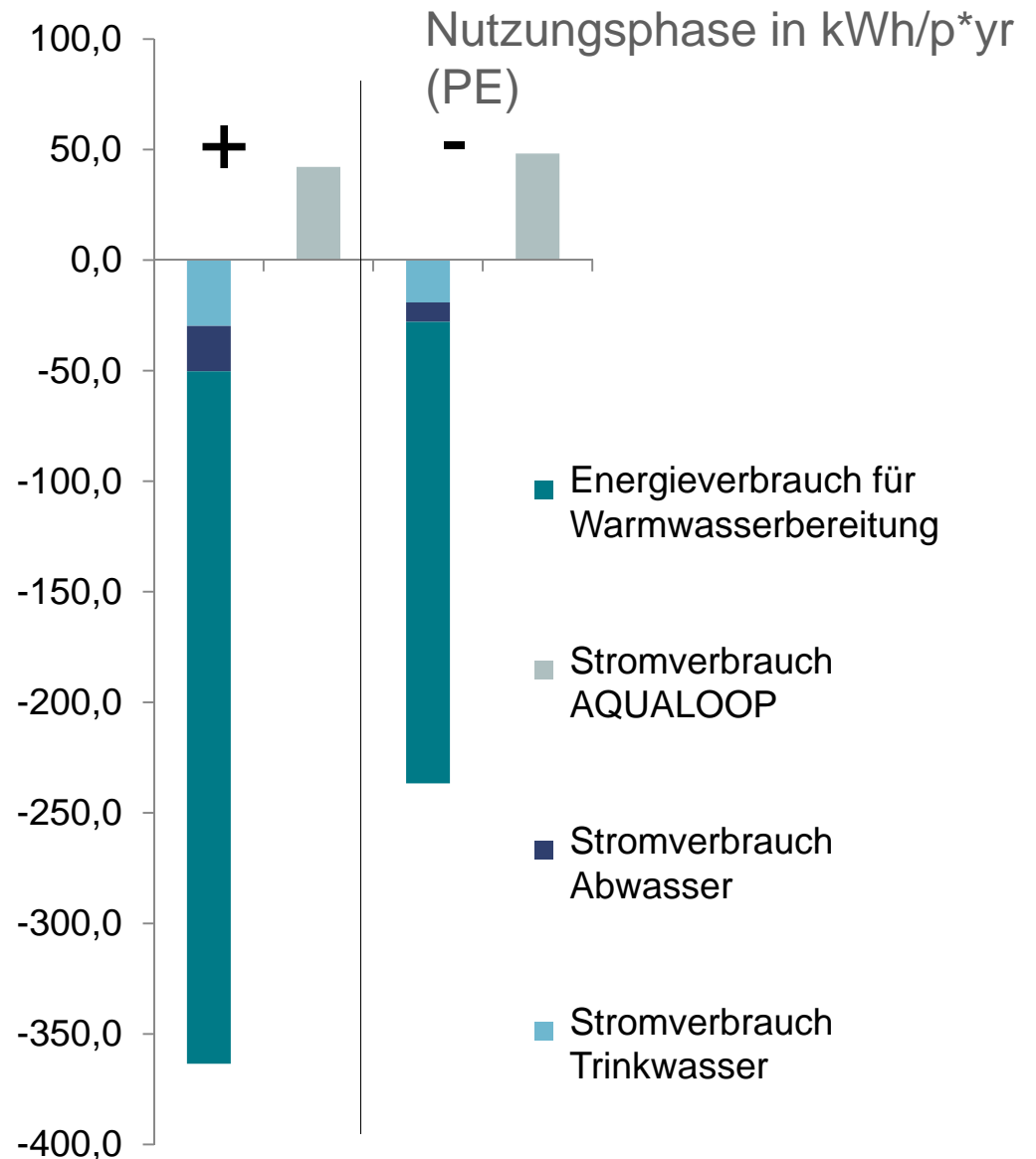
- **Energie**einsparungen pro Person und Jahr mit AQUALOOP (ausgedrückt als Primärenergie PE)
- **190 - 320 kWh** PE pro Person und Jahr
- **3800- 6400 kWh** pro Person während einer Lebensdauer von 20 Jahren
- Optimistisches (best case +) und pessimistisches Szenario (worst case -)

Nutzungsphase in kWh/p*yr (PE)



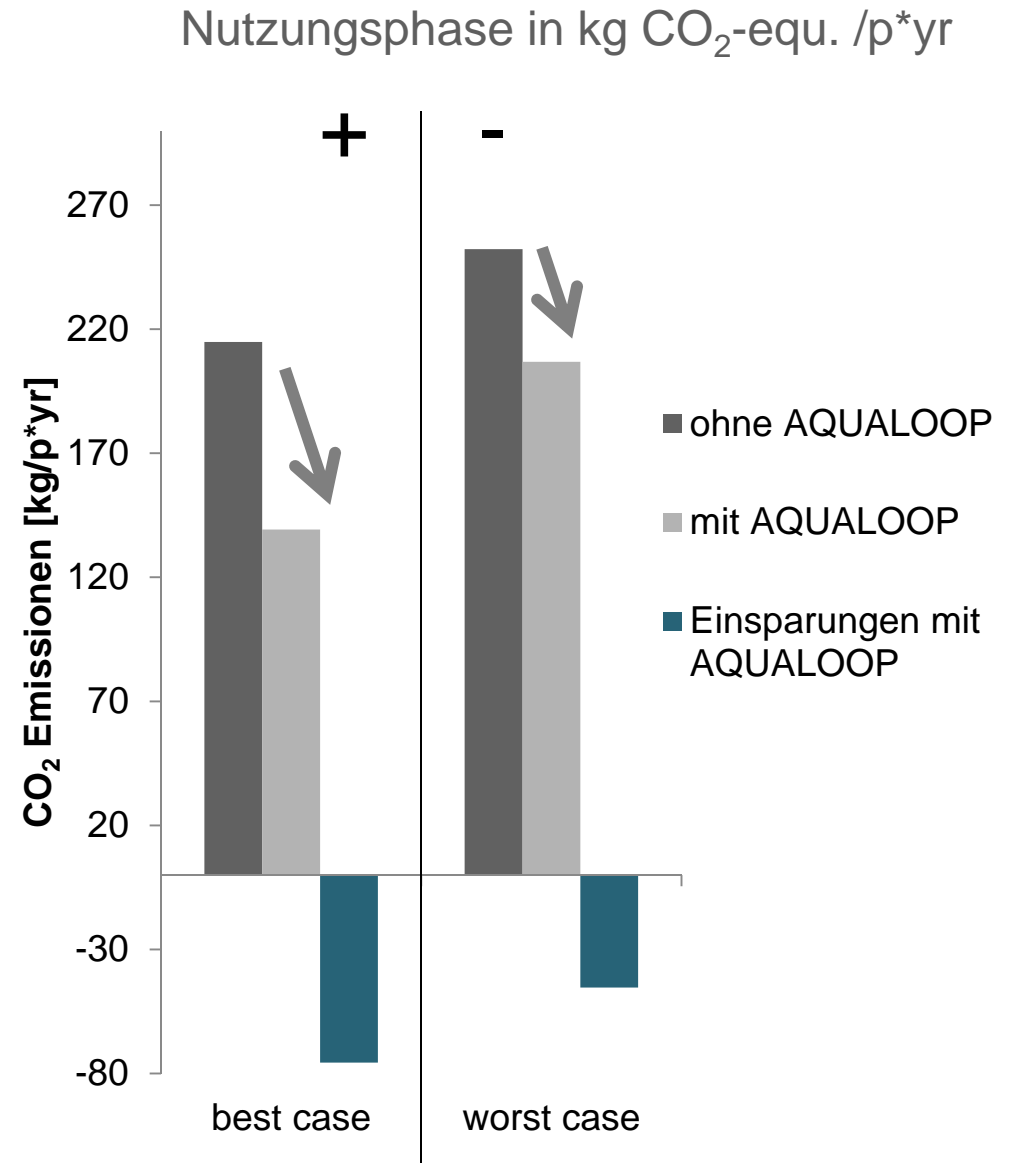
Energiebilanz

- **Energie**einsparungen pro Person und Jahr mit AQUALOOP
- Optimistisches (best case +) und pessimistisches Szenario (worst case -)
- Deutliche Einsparungen bei der Energienutzung:
 - Größer Beitrag von Einsparungen bei der Heißwasserproduktion (entspricht Energie aus 29 – 20 m³ Erdgas pro Person und Jahr)
 - Gefolgt von Einsparungen bei Wasser und Abwasser
- Zusätzliche Energienutzung für den Betrieb von AQUALOOP



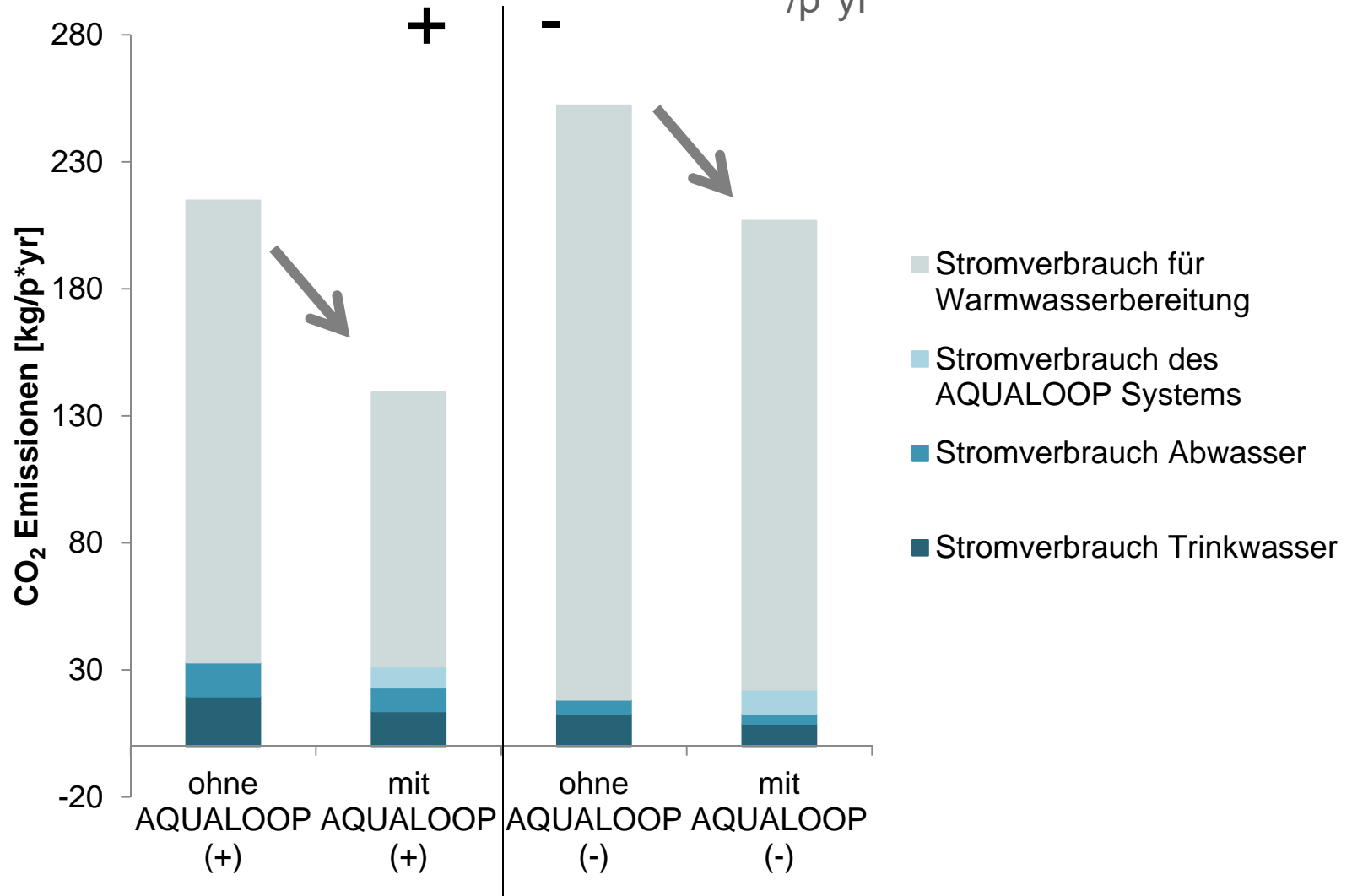
CO₂ Bilanz

- **Energie**einsparungen führen zu einer Reduktion der Emissionen von CO₂ (oder anderer Treibhausgase) (ausgedrückt als kg CO₂ Äquivalent)
- 45 – 76 kg pro Person und Jahr
- 900 – 1520 kg pro Person während einer Lebenszeit von 20 Jahren
- Optimistisches (best case +) und pessimistisches (worst case -) Szenario



CO₂ Bilanz

Nutzungsphase in kg CO₂-equ. /p*yr



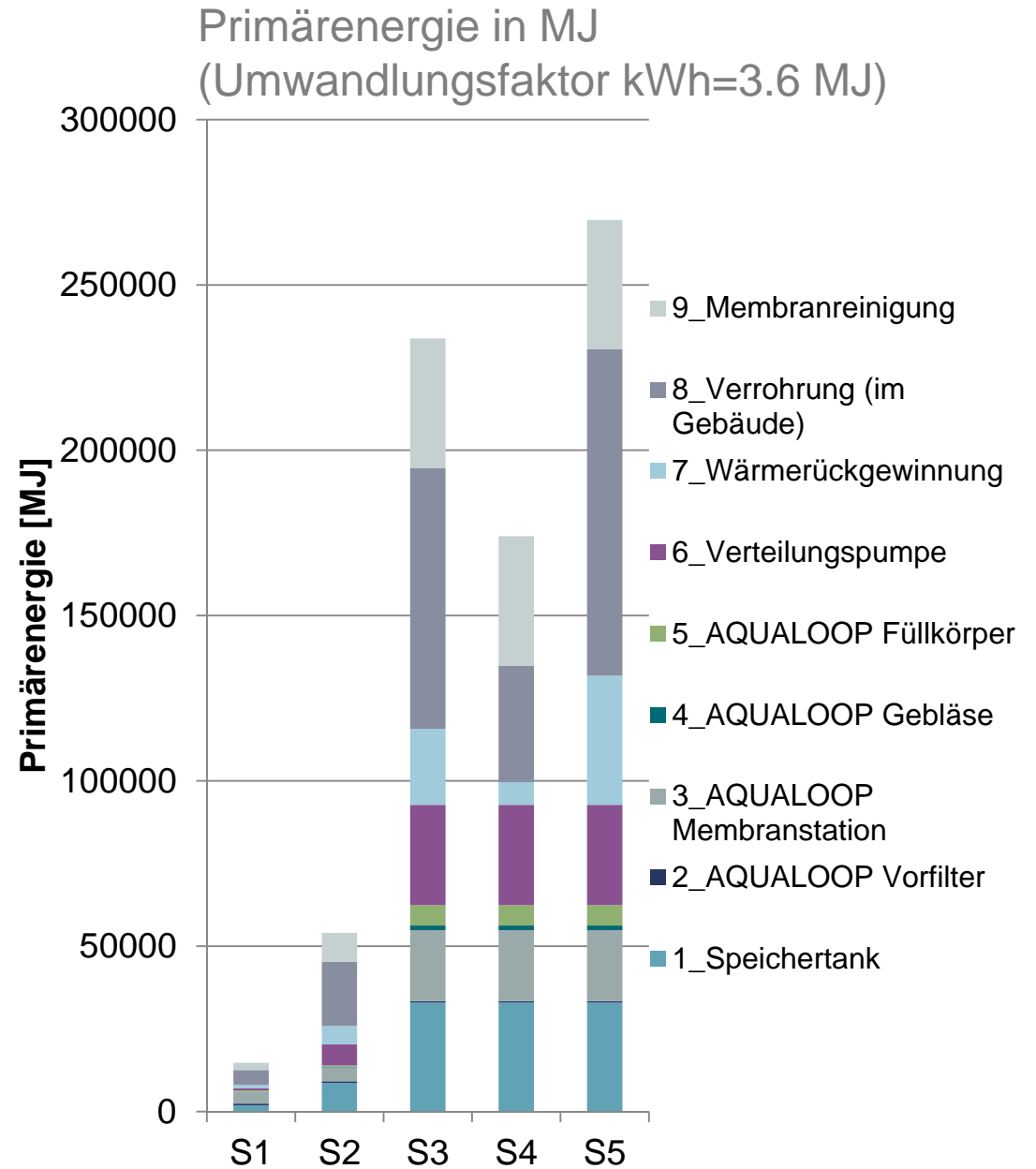
AQUALOOP in verschiedenen Settings

- Um die ökologische Nachhaltigkeit zu bewerten, analysieren wir das AQUALOOP System in verschiedenen Szenarien
- Für diese Szenarien S1 bis S5, bewerten wir den vollen Lebenszyklus, welcher die Produktion von Materialien, die Herstellung der Komponenten und das Materialrecycling umfasst.

Name	Beschreibung	Anzahl der Nutzer
S1	Einfamilienhaus	4
S2	Mehrfamilienhaus mit 6 Wohnungen	24
S3	Hochhaus mit 40 Wohnungen	100
S4	Sportanlage: Duschen und Toiletten werden von mehreren Personen genutzt	100
S5	Hotel mit Einzelzimmern und Doppelzimmern	100

Materialphase

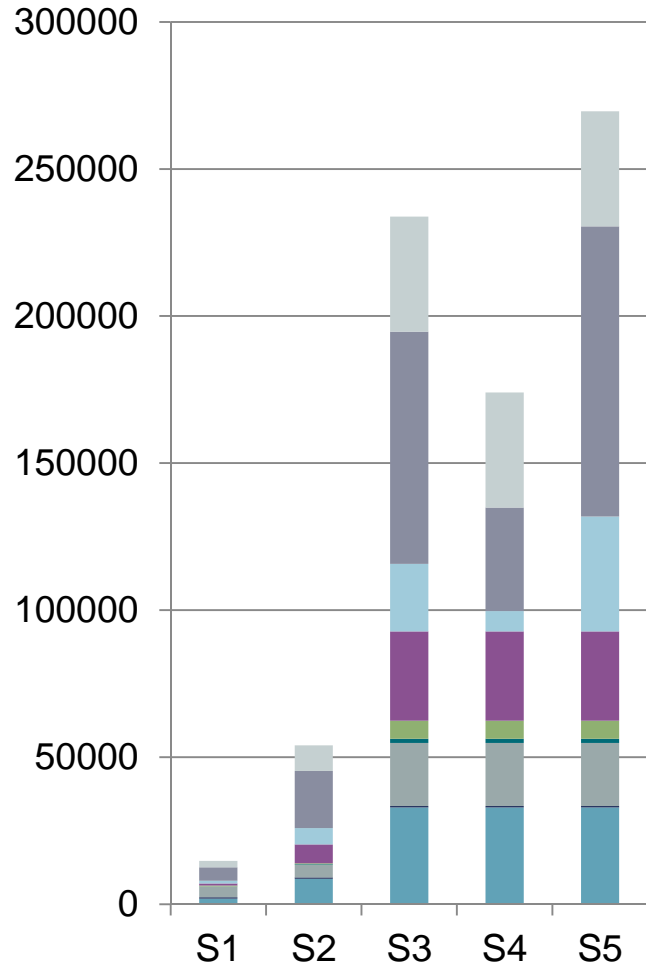
	Beschreibung
S1	Einfamilienhaus
S2	Mehrfamilienhaus mit 6 Wohnungen
S3	Hochhaus mit 40 Wohnungen
S4	Sportanlage: Duschen und Toiletten werden von mehreren Personen genutzt
S5	Hotel mit Einzelzimmern und Doppelzimmern



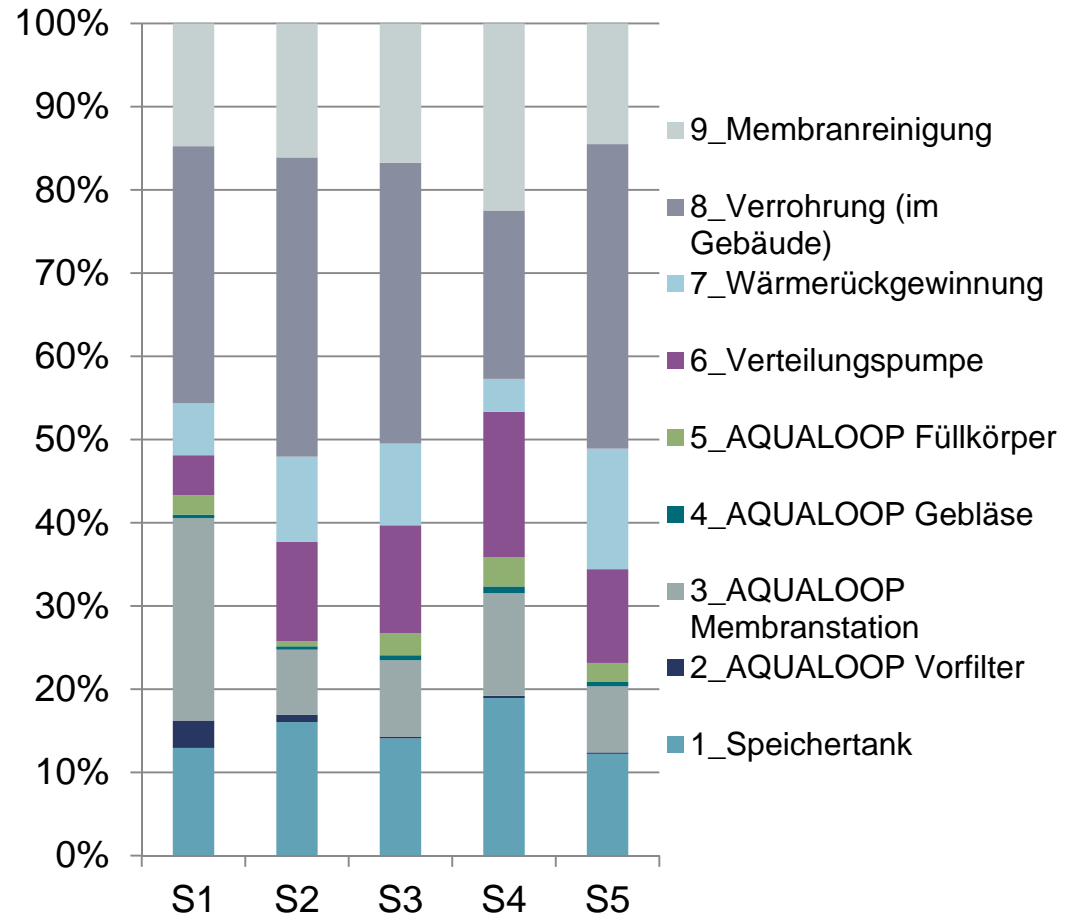
Materialphase

Primärenergie in MJ
(Umwandlungsfaktor kWh=3.6 MJ)

MJ gesamt (S1-S5)



Relativer Beitrag (S1-S5)



Materialphase

Großer Einfluss auf die Materialphase haben:

- Verrohrung und Wärmetauscher*
- Membranreinigung
- Pumpe und Speichertank
- Membranstation (10 Jahre Lebenszeit)

- *Verrohrung und Wärmetauscher haben Lebenszeiten zwischen 50 und 100 Jahren → in dieser Studie 20 Jahre
- *Szenarien mit angepasster Lebenszeit für Verrohrung und Wärmetauscher (Materialphase *0,5)*

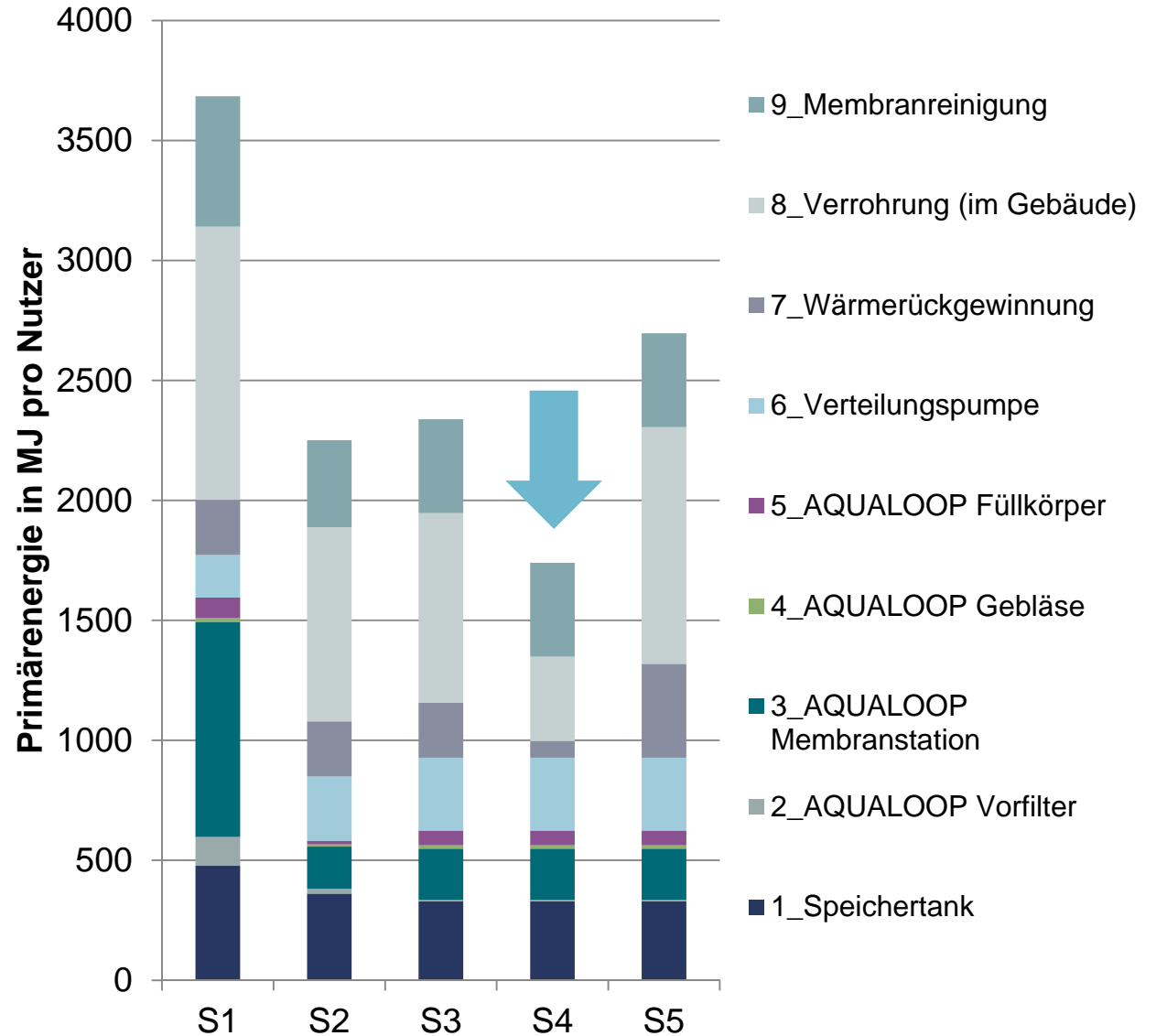
Größerer Einfluss



Kleinerer Einfluss

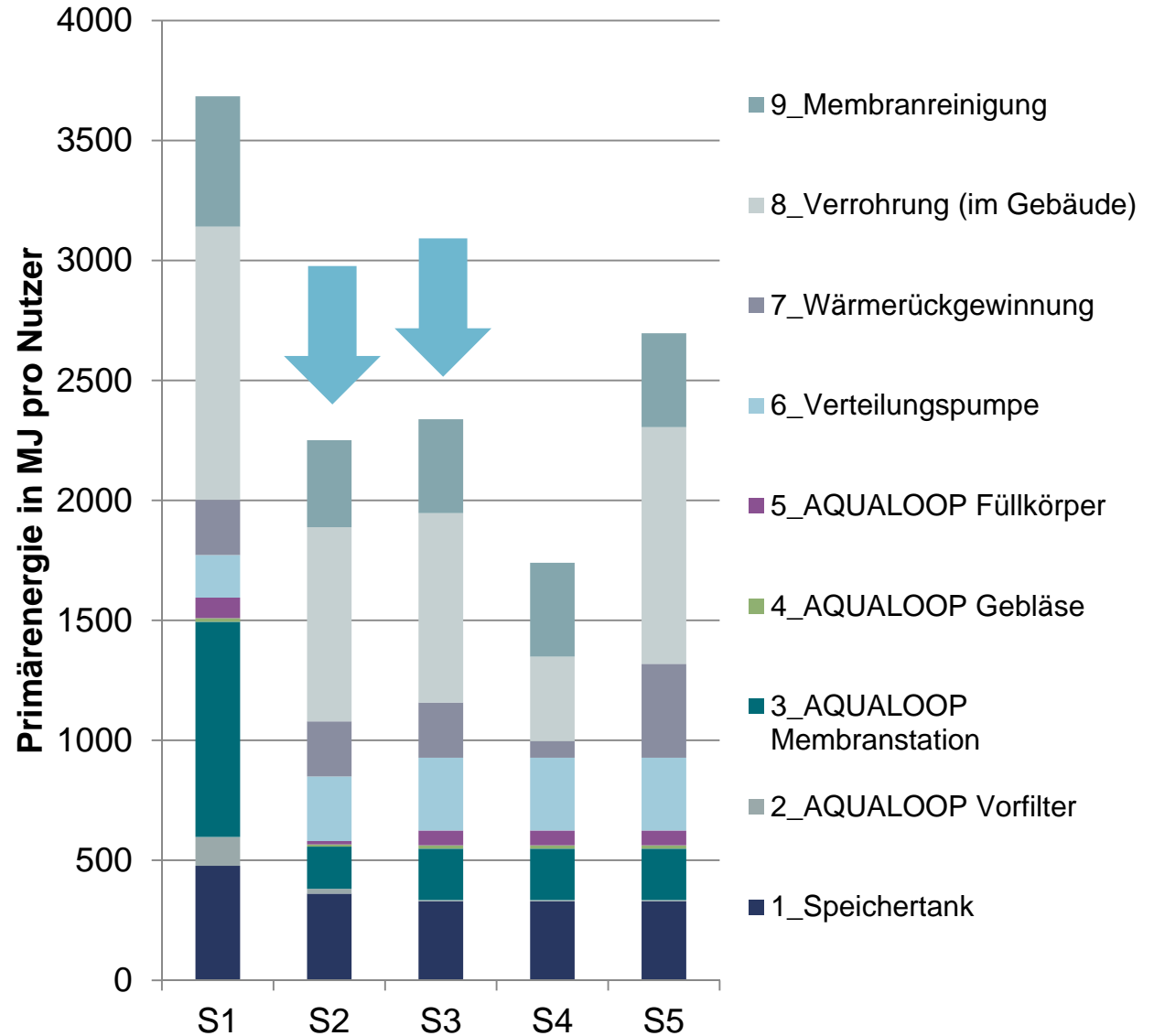
Materialphase

- Materialphase pro Nutzer
- Im Hinblick auf den Lebenszyklus ist die Sporteinrichtung (S4) das effizienteste Szenario. Da Duschen und Toiletten von mehreren Personen genutzt werden, ist die Verrohrung relativ kurz und eine geringe Anzahl an Wärmetauschern wird benötigt.



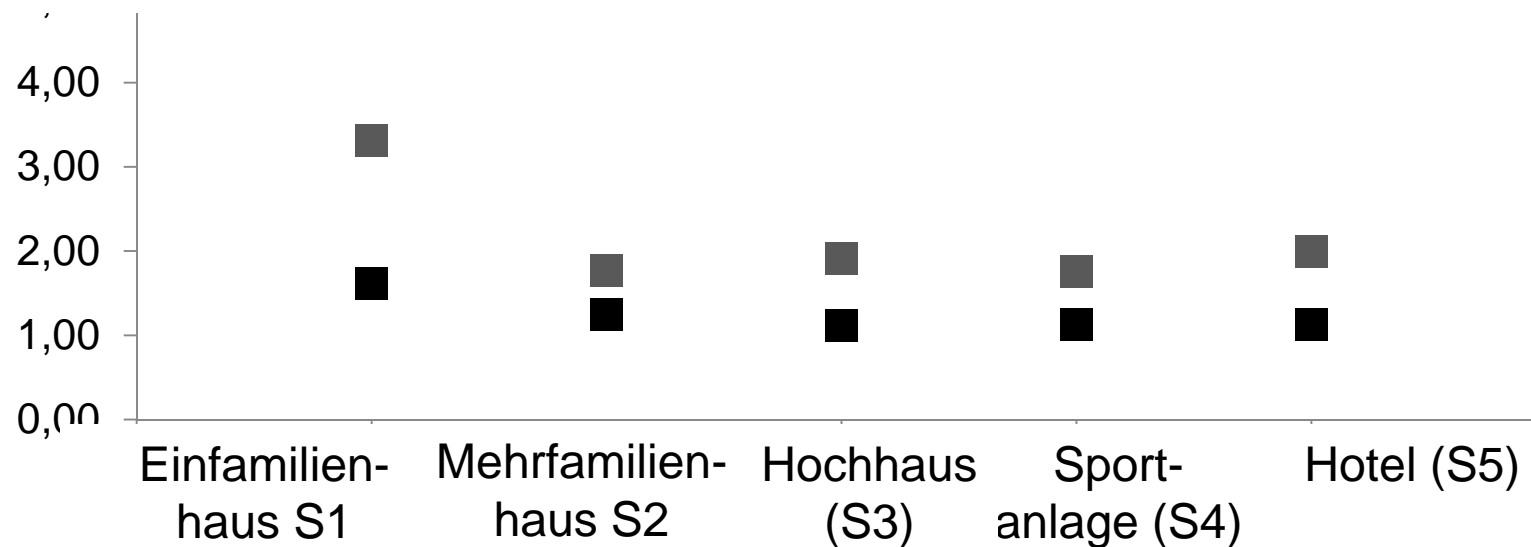
Materialphase

- S3 und S2 schneiden ebenfalls gut ab, da im Vergleich zum Einfamilienhaus (S1) bei den größeren Szenarien (24 Personen und mehr) Skaleneffekte auftreten
- Szenario S5 (das Hotel) weist aufgrund von Einzelzimmern und freien Raumkapazitäten eine größere Verrohrungslänge und eine größere Anzahl an Wärmetauschern auf



Energie-Amortisationszeit

- Der Energieverbrauch der Materialphase geteilt durch die jährlichen Einsparungen an Primärenergie ergibt die **Energie-Amortisationszeit** in Jahren
- Diese variiert zwischen den Settings:
2 – 3,5 Jahre für ein Einfamilienhaus und **1 – 2 Jahre** für die größere Settings



(angepasste Lebensdauer von Leitungen und Wärmetauschern von 50 Jahren)

Fazit

Wasser:

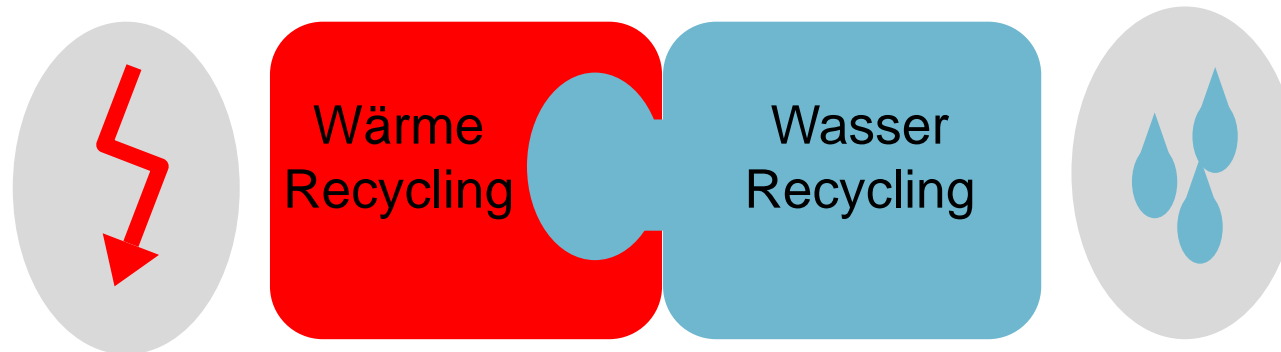
- Deutliche Einsparungen bei der **Wassernutzung** in Haushalten bedeuten weniger Druck auf Wasserressourcen
- Außerdem gibt es große **Wassereinsparungen in der Natur**, da weniger Abwasser mit einer geringeren thermischen Last den Fluss erreicht. Somit wird eine geringere Verdünnung in den aufnehmenden Flüssen benötigt, was Vorteile für Wasserressourcen und Ökosysteme mit sich bringt

Fazit

Energie:

- Die Analyse zeigt, aufgrund von Wärmerückgewinnung und Energieeinsparungen in der Wasserinfrastruktur, deutliche **Energieeinsparungen** während des Lebenszyklus. Diese Einsparungen gleichen den zusätzlichen Energiebedarf für die Betriebsphase von AQUALOOP aus.
- Die **Energie-Amortisationszeit** zeigt, dass das Konzept energetisch günstig ist, auch wenn der Energiebedarf für die Produktion der Rohmaterialien und die Fertigung mit einberechnet werden. Sie ist kürzer für größere Anwendungen (24 Nutzer und mehr) und bei einer ressourceneffizienten Verrohrung.

Grauwasser und Wärme – zweifache Wiederverwertung für verbesserte Nachhaltigkeit



Ökologische Bewertung des AQUALOOP Systems

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
(Fraunhofer ISI), Karlsruhe

Dr. Eve Menger-Krug, Dr. Jutta Niederste-Hollenberg, Dr. Thomas Hillenbrand,
Thorsten Hummen, Ulrike Feldmann, Angelina Pavon Garcia
August 2015