

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Umbau des Wasserturms zum 1. Nullenergiehochhaus (Gebäudetechnik)

MBc3-001555

Zuwendungsempfänger/-in

Jürgen Räßle

Umweltbereich

Energie, Klimaschutz

Laufzeit des Vorhabens

13.08.2008 bis 31.12.2015 (investiver Teil)

13.03.2008 – 01.12.2019 (Monitoring)

Autor

Norman Räßle

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare
Sicherheit**

Datum der Erstellung

19.01.2020

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 90 030/63	Projekt-Nr.: 1555
Titel des Vorhabens: Umbau des Wasserturms zum 1. Nullenergiehochhaus (Bilanzgrenze: Gebäudetechnik)	
Autor/-en (Name, Vorname): Norman Räßle	Vorhabenbeginn: April 2008
	Vorhabenende: April 2017
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Jürgen Räßle, Kabisländer 3, 78315 Radolfzell	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl: 53
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Der aquaTurm ist ein ehemaliger Wasserturm, welcher in einem 8-jährigen Umbauprozess zum 1. Nullenergiehochhaus mit Design-Hotel umgebaut wurde. In dem sanierten Turm ist ein anspruchsvolles Konzept umgesetzt. Der aquaTurm ist eines der ersten Hochhäuser mit Passivhaustechnik, welches durch sein innovatives Energiesystem mehr Energie erzeugt als es für die gesamte Gebäudetechnik benötigt. Der Turm wird zu 100 % aus selbst erzeugter regenerativer Energie (Sonne, Wind, Geothermie) versorgt.	
Schlagwörter: Energieeffizientes Bauen, Nullenergiehochhaus	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 1 fach Elektronischer Datenträger: 1 fach, pdf u. docx	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite: Ja

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 90 030/63	Project-No.: 1555
Report Title: Conversion of the water tower to the first zero-energy high-rise (for the technical building systems)	
Author/Authors (Family Name, First Name): Norman Räßle	Start of project: April 2008
	End of project: April 2017
Performing Organisation (Name, Address): Jürgen Räßle, Kabisländer 3, 78315 Radolfzell	Publication Date:
	No. of Pages: 53
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety	
Summary (max. 1.500 characters): The aquaTurm is a old water tower, which was converted into a 1st zero-energy high-rise building with a design hotel in an 8-year conversion process. A sophisticated concept has been set up in the renovated tower. The aquaTurm is one of the first high-rise buildings with passive house technology, which generates with his innovative energy system more energy than is required for the entire technical building systems. The tower is supplied by 100 % self-generated, renewable energy (sun, wind, geothermal energy).	
Keywords: Energy efficient construction, zero energy high-rise	

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	4
2. Vorhabenumsetzung.....	5
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	11
4. Übertragbarkeit	26
5. Zusammenfassung	28
6. Summary	32

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Die Privatperson Jürgen Räßle ist seit über 35 Jahren in der Baubranche tätig. In dieser Zeit wurden durch ihn über 15 Bauprojekte in großer handwerklicher Eigenleistung realisiert. Für die Sanierung des Wasserturms wurde durch ihn und seine beiden Söhne ein eigenes Bauunternehmen (Räßle & Söhne) mit 2 Mitarbeitern gegründet, um den komplexen Umbau umzusetzen. Durch dieses Bauunternehmen wurden ca. 80 % der Bauleistungen erbracht.

1.2. Ausgangssituation

Der Wasserturm in Radolfzell am Bodensee wurde 1956 zur Wasserbevorratung für die Milchwerke GmbH erbaut. Er stellte zudem den damals benötigten hydrostatischen Druck für die Wasserversorgung des Werkes sicher und fungierte zusätzlich als Lagergebäude. Die Stilllegung des Turms fand 1979 statt, womit er auch seine Funktion als Wasserhochbehälter verlor und der Behälter demontiert wurde. Über 30 Jahre des Verfalls haben unübersehbare äußerliche Spuren hinterlassen und verpflichteten dazu, dieses herstellungsintensive, ungenutzte Bauwerk einer neuen Nutzung zuzuführen.

Die zum damaligen Zeitpunkt gültige Energieeinsparverordnung (EnEV 2007) wies für Nichtwohngebäude relativ hohe Energieverbräuche auf. Da der Betrieb von Gebäuden ca. 40 % des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland ausmacht, sollte dieser deutlich unterschritten werden und des Weiteren aufzeigen, dass Nichtwohngebäude im Bestand auch mit einer energieintensiven Nutzung (hier Hotelbetrieb) zu einem Großteil (>80 %) mit selbst erzeugter, regenerativer Energie versorgt werden können.

Abbildung 1 Alter Wasserturm Radolfzell 1956 bis 2008



Quelle: Norman Räßle

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Umbau eines ehemaligen Wasserturms zu einem Nullenergiehochhaus* (*enthält Energieaufwendungen für die Gebäudetechnik, also Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug, Beleuchtung, ohne weitere Stromverbraucher z.B. Küchenausstattung) mit Hotelbetrieb. Gemäß der damals gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV 2007) durften Nichtwohngebäude einen Primärenergiebedarf von bis zu ca. 230 kWh/(m²a) aufweisen. Dieser energetische Maßstab sollte mit dem zukünftig sanierten Wasserturm um über 80 % unterschritten werden, um aufzuzeigen, dass bei Nichtwohngebäuden, insbesondere im Gebäudebestand immense Energie- und CO₂ Einsparungen (hier 61 to. CO₂/a`) gegenüber dem Stand der Technik möglich sind. **Ein weiteres energetisches Ziel war es, am Gebäude mehr regenerative Energie (Sonne, Wind, Geothermie) zu erzeugen als die Gebäudetechnik für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug und Beleuchtung verbraucht. Auf diese Bilanzgrenze bezieht sich im Folgenden der Begriff „Nullenergie“.** Auch im Bereich der Baumaterialien sollten durch CO₂-reduzierten Beton, Recyclingwerkstoffe, Holz-/Alu Fenster, Mineralische Dämmung, Ton statt Gips und Kalk deutliche Ressourcen- und Energieeinsparungen erzielt werden.

Abbildung 2 Ansichten des aquaTurms nach der Sanierung 2017



Quelle: Fotostudio Kuhnle + Knödler GbR

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Durch den Umbau des alten Wasserturms (Bestandsgebäude) zu einem Nullenergiehochhaus mit Hotel und den Einsatz von Passivhaustechnik sowie die konsequente Integration von erneuerbaren Energien in die Gebäudehülle und die hocheffiziente Optimierung des Wärme-, Kälte- und Stromverbrauchs in einem Hotelbetrieb können erhebliche Einsparungen im Energieverbrauch und bei den CO₂-Emissionen erzielt werden.

Dies wurde erreicht durch folgende Maßnahmen, Einsparungen und Optimierungen:

ENERGIEEINSPARUNG

- Hochwärmegedämmte, wärmebrückenreduzierte Gebäudehülle
 - ⇒ Mittlerer U- Wert= 0,212 W/m²K; U_{wb}= 0,016 W/m²K
 - ⇒ Reduzierung des Heizwärmeverbrauchs, prognostiziert auf ca. 19 kWh/m²a
 - ⇒ Reduzierung des Kühlenergieverbrauchs, prognostiziert auf ca. 2 kWh/m²a

- Optimierung Glasflächenanteil in der Gebäudehülle
 - ⇒ Einsatz von Hochleistungs-Verbundfenster 5-fach verglast als Holz-/Alu-Konstruktion mit witterungsgeschütztem Sonnen- und Blendschutz und passiver sommerlicher Hinterlüftung über Thermoschieber. Der 5-fach-Aufbau des Fenstersystems wurde aufgrund der Praxisempfehlung des Fensterhersteller wegen der Kondenswasserfreiheit gewählt. Die 2-fach verglaste Außenscheibe ermöglicht eine höhere Oberflächentemperatur an der Scheiben Innenseite und reduziert hierdurch signifikant die Kondenswasserbildung gegenüber einer 1-fach verglasten Außenscheibe. U_w = 0,42 W/m²K bis 0,61 W/m²K; g = 39 % und g_{verschattet} = 6 %

- Weitere Reduzierung des Kühlenergiebedarfs durch:
 - ⇒ Schwere Bauweise und Nutzung der Bauteilmassenträgheit, um Nachtkälte einzuspeichern und Kühllastspitzen abzufachen bzw. zu reduzieren
 - ⇒ Freies Kühlen über Flächenkühlung (Fußboden) durch die Nutzung des geothermischen Kältepotenziales
Spitzenlast-Unterstützung der Flächenkühlung an Hochsommertagen durch EC-Boden- und Deckenventilatoren zur Erhöhung der Kühlleistung durch künstlichen Konvektionsanteil.

- Dezentrale Warmwassererzeugung durch hocheffiziente Frischwasserstationen, Reduktion der Temperatur- und Zapfleistungen bei den Duschen und Wasserarmaturen, dezentrale elektrische Warmwassererzeugung bei den Wasserarmaturen, hochwärmegedämmte Warmwasserleitungen, temperatur-, zeit- und druckdifferenzgesteuerte Warmwasserringleitung

- ⇒ Reduzierung des Warmwasserverbrauchs von 87 kWh/m²a um 65 % auf 31 kWh/m²a
- ⇒ Reduzierung der erforderlichen Zapftemperatur von 60 °C (Großanlage) auf 42 °C (Kleinanlage)
- ⇒ Reduzierung der Dusch- und Zapfleistungen auf 7,5-8,0 l/min.
- ⇒ Reduzierung der Wasserarmaturen Zapfleistungen auf 0,7-1,8 l/min.
Dezentrale, elektrische Warmwassererwärmung der Wasserarmaturen mit 2x 1,1 kW Elektroheizstäben, da die Volumenstromerkennung der Frischwasserstationen erst ab 2,0 l/min. misst. Der Stromverbrauch bei 35 °C Zapftemperatur und 1,3 l/min. beträgt hierdurch nur ca. 40 W.
- Reduzierung der Lüftungsverluste (Wärme + Kälte) durch dezentrale, präsenzgeregelte Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung > 90 %

ENERGIEEFFIZIENZ

- Einsatz von Flächenheizung und -Kühlung, optimiert für den Betrieb mit Niedertemperaturwärme (25-35 °C) und Hochtemperaturkälte (15-20 °C) durch extrem geringen Rohrverlegabstand kleiner 10 cm.
- Präsenzgeregelte Beleuchtung mit 100 % LED-Technik
- Alle technischen Geräte wie Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen, Dampfgeneratoren, Kaffeemaschinen, die Wärme benötigen, wurden an das Warmwassernetz angeschlossen, um den Strombedarf zu reduzieren.
- Einsatz von solaren Wäschetrocknern zur Reduzierung des Strombedarfs für die energieintensive Trocknung der Hotelwäsche (Handtücher, Bademäntel etc.).
 - ⇒ Die Kondensationskälte (17-25 °C) wird über die Geothermieanlage und die Heizwärme (45-50 °C) über die Solarthermie- und Wärmepumpenanlage zur Verfügung gestellt anstatt konventionell elektrisch erzeugt zu werden.
- Aufzug mit PU-Gurt-Antrieb und Energierückgewinnungstechnik, sowie energiesparender Stand-By-Steuerung und LED-Beleuchtung
- Kleiner, saisonaler Solarwärmespeicher aus Glasfaser, 12.000 l Speichervolumen, mit Schichtenladerohren mit laminaren Ausströmöffnungen für hohe solare Deckung (35 % bis 40 %) und Gewährleistung effizienter Be- und Entladevorgänge mit geringsten Wärmeverlusten.

- Elektrischer Stromspeicher mit 52,5 kWh zur Verbrauchserhöhung (>50 %) des selbsterzeugten, regenerativ Strom, sowie Spitzenlastkappung
- Leistungsgeregelte, druckdifferenzgesteuerte hocheffiziente Wasserförderpumpen
- Hydraulik- u. streckenoptimiertes Leitungsnetz, hochwärmegeklämt
- Hocheffiziente, drehzahleregelte Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Solarenergierestnutzung, JAZ > 4,5
- Frei programmierbare Heizungs- und Kühlregelung für die effiziente Steuerung von Energieverbraucher und Energieerzeuger.

ERNEUERBARE ENERGIEN

- Fassaden- und dachintergierte Photovoltaikanlage mit 916 Dünnschicht CIS-Modulen. Elektrische Leistung= 68,7 kW
prognostizierter Ertrag = 575 kWh/m²a
- Fassaden- und dachintergierte Solarthermieanlage aus hocheffizienten Vollvakuumröhrenkollektoren Thermische Leistung= 33,4 kW
prognostizierter Ertrag = 519 kWh/m²a
- Vertikale Windkraftanlage (Darrius H- Rotor)
Elektrische Leistung= max. 3,5 kW; prognostizierter Ertrag= 5.255 kWh/a

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Die wesentlichen Arbeitsschritte von der Planungsphase bis zur Inbetriebnahme des aquaTurm gliedern sich wie folgt:

- Projektidee- Konzeptionierung
- Architektonische Vorentwurfs- und Entwurfsplanung
- Kostenschätzung- Berechnung, Wirtschaftlichkeitsanalyse
- Parallele Entwicklung des Energie- und Tragwerkskonzeptes
- Fördermittelsuche und Beantragung
- Baugenehmigungsplanung
- Ausschreibung, Vergabe der Bauleistungen, die nicht in Eigenleistung erbracht wurden
- Herstellungsphase des Gebäudes
- Kostenkontrolle
- Abnahme der Fremdgewerke
- Inbetriebnahme der Gebäudetechnik

- Inbetriebnahme des Gebäude- u. Hotelbetriebes
- Energie- und Kostenmonitoring des Hotelbetriebs

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Für die Sanierung und Umbau des Wasserturm waren diverse baurechtliche Genehmigungen erforderlich, die brandschutzrechtliche, tragwerkstechnische, arbeitsstättenrechtliche und gesundheitsrechtliche Anforderungen beinhalteten und erfüllt werden mussten. Es musste des Weiteren ein tragfähiges Nutzungskonzept der Stadtverwaltung und dem Gemeinderat vorgelegt werden, um den Turm zu erwerben.

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Folgende wichtige Energieverbraucher und Energieerzeuger wurden im Gebäude für 3 Jahre digital über ein netzwerkbasierendes Datenlogging System in 5-15-Sekunden-Schritten erfasst und ausgewertet. Die verbleibenden Energieverbraucher und Energieerzeuger wurden über analoge nicht-netzwerkbasierende Energiezähler erfasst und aufgezeichnet:

Folgende Aufstellung zeigt die Datenpunkte, die digital (netzwerkbasierend) und analog (nicht netzwerkbasierend) erfasst wurden.

Energieverbraucher:

- Wärmeverbrauch Heizung in kWh und kW (digital)
- Kälteverbrauch in kWh (analog)
- Wärmeverbrauch Warmwasser in kWh und kW (digital)
- Wärmeverbrauch Wäschetrocknung/Waschmaschine in kWh (analog)
- Stromverbrauch Wäschetrocknung/Waschmaschine in kWh (analog)
- Wärmeverbrauch Küche- und Wellnessbereich in kWh (analog)
- Stromverbrauch Küche- und Wellnessbereich in kWh (analog)
- Stromverbrauch Warmwasser-Waschbecken in kWh (analog)
- Stromverbrauch für Lüftung in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch für Beleuchtung in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch für Heizungs-Umwälzpumpen in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch für Grundwasserpumpe in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch für Wärmepumpe in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch für Solarpumpen in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch für Aufzug in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch allgemein für Gebäude in kWh und kW (digital)
- Stromverbrauch Kühlschränke in kWh (analog)
- Stromverbrauch E-Ladestation in kWh (analog)

Energieerzeuger, Speicher:

- Wärmeerzeugung Wärmepumpe in kWh und kW (digital)
- Wärmeerzeugung Solarthermie in kWh und kW (digital)
- Stromerzeugung PV- Anlage in kWh und kW (digital)
- Stromerzeugung Windkraftanlage in kWh und kW (digital)
- Stromerzeugung Aufzug in kWh und kW (digital)
- Stromausspeicherung Batterie in kWh und kW (digital)

Die erfassten digitalen Messdaten wurden wöchentlich geprüft und verglichen, sowie daraus regelungstechnischer Handlungsbedarf abgeleitet. Die analogen Messdaten wurden wöchentlich an den Energiezählern kontrolliert, aber nur jährlich über Fotos der Zählerstände dokumentiert.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms¹

Das Ingenieurbüro Räßle wurde mit dem Messprogramm für den aquaTurm durch das UBA und Herrn Jürgen Räßle (Förderungsempfänger) beauftragt. Das Programm hatte das Ziel, alle relevanten Energieverbraucher und Energieerzeuger, die zur Erreichung und Bewertung des energetischen Ziel Nullenergiehochhaus für Gebäudetechnik von Bedeutung sind, zu erfassen, dokumentieren, auszuwerten und ggf. Optimierungsmaßnahmen einzuleiten. Die Messdaten wurden in den energetischen Einheiten kW und kWh über 3 Jahre in 1- bis 5-Minuten-Intervallen erfasst. Des Weiteren wurde zur Plausibilitätsprüfung der erfassten Messdaten die Hochschule Konstanz, Fachgebiet energieeffizientes Bauen, beauftragt, die über den Messzeitraum hinweg in fachlichen Stellungnahmen bestätigt haben, dass die durch das Ingenieurbüro Räßle erfassten Daten vollständig und plausibel sind. Im Eingangsbereich des Hotels werden die wesentlichen Energiekennwerte aus dem laufenden Messprogramm live angezeigt.

1 Sofern durchgeführt

Abbildung 3 Elektronische Anzeige der Energiekennwerte im Eingangsbereich



Quelle: Markus Schellinger

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Während der ersten 3 Betriebsjahre (01.01.17-31.12.19) zur wissenschaftlichen und messtechnischen Begleitung und Auswertung des aquaTurm-Hotels wurden alle für die Nullenergie-Bilanzierung erforderlichen Messdaten erfolgreich erfasst.

Das energetisch angestrebte Ziel Nullenergiehochhaus* (*enthält Energieaufwendungen für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug, Beleuchtung) konnte in allen drei Messjahren erreicht werden. Das erste Messjahr kann als Einregulierungsjahr betrachtet werden, da in diesem Jahr der Energieverbrauch durch die Aufheizphase der Gebäudemasse und die nicht am optimalen Arbeitspunkt betriebene Technik am größten war, trotz der Eröffnung des Hotelbetriebes am 08.04.2017. In den darauffolgenden Jahren konnte eine stetige Reduzierung des Energieverbrauchs trotz steigender Hotelauslastung und damit einhergehender höherem Energiebedarf bei Warmwasser und Strom erreicht werden.

Ebenfalls waren die ersten 3 Betriebsjahre auch von unerwarteten regelungstechnischen, elektrotechnischen und mechanischen Schwierigkeiten und Herausforderungen geprägt, die sich wie folgt darstellen lassen.

PV- Wechselrichter:

Im April 2017 sind zwei PV- Wechselrichter mit 18kW Leistung aufgrund eines Kondensatorschadens für ca. 2 Monate ausgefallen. Die Wechselrichter konnten wieder Instandgesetzt werden.

PV- Fassade:

Alle fassadenintegrierten PV- Module (ca. 1.200 Stk.) mussten nachträglich mit einem Spezialkleber an den horizontal verlaufenden Unterkonstruktion fixiert werden, da diese bei starker Wind Einwirkung angefangen haben zu klappern, da sich Metall auf Metall bewegt hat. Die Kosten hierfür hat der Hersteller (STO) tragen müssen, da von Seiten der Bauherren vor Montage auf diese mögliche Problemstellung hingewiesen wurde.

Windkraftanlage:

Bei der vertikalen Windkraftanlage wurde ein Lagerschaden aufgrund einer Undichtigkeit im Generatorkopf festgestellt. Dies hat über eine längerer Zeit dazu geführt, dass der Generator total verrostete und zu einer Unwucht in der Drehbewegung geführt hat. Dies wiederum hat das Generatorlager und die Flügelaufhängung irreparabel beschädigt. Aus diesem Grund wurde die bestehende Windkraftanlage demontiert und zwischen dem 16.12. und 20.12.2019 durch einen neuen Darrius H-Rotor von der Firma Hipar, Ecorote 2800 ersetzt. In den verbleibenden 11 Messtagen des letzten Messjahres hat die neue Windkraftanlage trotz geringer Windhäufigkeit ca. 3 kWh produziert.

Abbildung 4 Windkraftanlage auf dem aquaTurm



Quelle: Norman Räßle

Grundwasserbrunnen:

Bei einem der beiden geothermisch genutzten Grundwasserbrunnen (Schluckbrunnen) ist eine Versandung der Filterstrecke zwischen 54-60m Tiefe in 2018 aufgetreten. Dies konnte trotz des durchgeführten Freispülens nicht behoben werden. Da 2008 insgesamt 4 Brunnen abgeteuft wurden, konnte der zweite Schluckbrunnen zur Einleitung aktiviert werden, so dass die thermische Nutzung des Grundwassers weiterhin möglich ist. Die Ursache für das Versanden war vermutlich ein zu kurzes Klarspülen mit der Dauer von 2 Tagen und das Vorhandensein von Schluff im oberen Bereich des Filterrohrs. Nach weiteren 3 Monaten hat sich auch der oberflächennahe Schluckbrunnen als stark versandet erwiesen. Nach einer ausführlichen hydrogeologischen Analysen der Brunnen durch die Firma Baugrund Süd wurde entschieden, einen neuen Schluckbrunnen mit größerem Durchmesser (400 mm) zu bohren, um die geförderte Wassermenge auf zwei Schluckbrunnen zu verteilen. Nach Inbetriebnahme des neuen Schluckbrunnen im November 2019 funktioniert dieser nun einwandfrei.

Verbundfenster:

Bei mehreren Verbundfenstern wurden im Frühjahr 2017 gerissene Außenglasscheiben festgestellt. Die Ursache hierfür war, dass der Fensterbauer zum Scheibenzwischenraum hin, wo sich die Verbundfensterjalousie befindet, kein ESG Glas verbaut hat, sondern nur Floatglas, das bei den erhöhten Scheibenzwischenraumtemperaturen bis ca. 75 °C angefangen hat zu reißen. In der Konsequenz wurden alle 170 Außenscheiben nochmals neu bestellt und durch Sonnenschutzgläser mit Softcoating-Beschichtung ersetzt. Hierdurch wurden in den Sommermonaten ein deutlich geringerer Wärmeeintrag und geringere Raumtemperaturen erreicht. Die Fußbodenkühlung funktioniert sehr gut, wir haben zur Leistungssteigerung in allen Hotelzimmer Boden- und Deckenradialventilatoren eingebaut, die durch den Konvektionsanteil die Kühlleistung der Fußbodenkühlung nochmals deutlich verbessert haben.

Elektrischer Stromspeicher:

Die von der Firma Sonnen GmbH im Jahre 2016 installierte 60 kWh Lithium Eisenphosphat Batterie lief die ersten beiden Betriebsjahre (2017-2018) relativ stabil. Im Jahr 2019 häuften sich die Modbus-Störungen des Batteriemangementprogramms aufgrund Messfehler bei der Zellspannung der Batteriestacks. Das optische Messsystem wurde daraufhin mehrfach umgerüstet und komplett ausgetauscht. Dies brachte jedoch keine Verbesserung des Problems. Des Weiteren haben die drei Batteriewechselrichter Störungen beim Entladevorgang der Batterie erzeugt. Im September 2019 hat sich die Firma Sonnen entschlossen, die bestehende Batterie auf Kulanz gegen eine neue Lithium-Eisenphosphat-Batterie mit Bruttokapazität von 52,5 kWh und einer Nettokapazität von 47,75 kWh auszutauschen. Seit der Inbetriebnahme Ende September 2019 läuft dieser nun absolut stabil. Durch den Ausfall der Batterie über ca. 4,5 Monaten in 2019 hat sich der Strombezug für das Gebäude um ca. 4.500 kWh/a gegenüber 2018 erhöht.

Aufzugsanlage:

Der Umrichter (Energierückgewinnungseinheit) des Aufzugmotors musste aufgrund eines Defektes im Februar 2018 ausgetauscht werden. In diesem Zusammenhang wurde ein falsch dimensionierter Umrichter eingebaut, da der defekte in dieser Baugröße nicht mehr verfügbar war. Erst Anfang Dezember 2018 konnte ein neuer passender Umrichter wieder eingebaut werden. In diesem Zeitraum ist der Stromverbrauch für die Aufzugsanlage um über 70 % angestiegen. 2019 konnte der Stromverbrauch mit 30 % gegenüber 2018 wieder deutlich reduziert werden. Die Energierückgewinnung erreichte 2017 mit 16,3 % gemessen am Stromverbrauch ihren Höchstwert, 2018 lag dieser Wert nur noch bei 0,85 % aufgrund des defekten Umrichters. 2019 erreichte die Energierückgewinnungseinheit einen regenerativen Rückspeiseanteil von 3,85 %. Leider wird der anfänglich verbaute PF1-Umrichter, der optimal für den Synchronmotor ausgelegt war, nicht mehr produziert. Der neue Umrichter ist ca. 30 % überdimensioniert und liegt hierdurch nicht mehr im optimalen Kennfeldbereich des motorischen Generators, womit sich der geringere Rückgewinnungsanteil erklären lässt.

Alle beschriebenen und dargestellten Schwierigkeiten und Herausforderungen konnten erfolgreich in technischer und ökonomischer Sicht, nachhaltig beseitigt werden und gewährleisten nun einen stabilen und effizienten Gebäudebetrieb.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Nachfolgende Tabelle zeigt die Messergebnisse von 2017 bis 2019 für die Nullenergiebilanz wie auch die Gesamtenergiebilanz und die Energieerzeugung.

Tabelle 1 Endenergieverbrauch- u. Erzeugung des aquaTurm-Hotel über die 3 Messjahre mit prozentualer Verteilung.

kWh/a	2017		2018		2019	
	Energiebezugsfläche aquaTurm: 709m ²					
Wärmeverbrauch Heizung*	32.430	63,1 %	26.080	52,3 %	27.355	55,4 %
Wärmeverbrauch Warmwasser*	12.563	24,4 %	14.383	28,8 %	13.450	27,2 %
Wärmeverbrauch Waschmaschine-Trocknung*	1.904	3,70 %	2.630	5,30 %	2.389	4,80 %
Wärmeverbrauch Küche und Wellness*	4.563	8,87 %	6.817	16,6 %	6.207	12,6 %
Summe Wärmeverbrauch*	51.433	100 %	49.910	100 %	49.401	100 %
Stromverbrauch Grundwasserpumpe für Klimakälte*	~1.197 (14.900 kWh/a/12) ⁽¹⁾	2,94 %	1.410 (16.989 kWh/a/12) ⁽¹⁾	3,41 %	1.070 (12.882 kWh/a/12) ⁽¹⁾	2,41 %
Stromverbrauch Lüftung*	1.606	3,94 %	1.790	4,33 %	1.524	3,43 %

kWh/a	2017		2018		2019	
Stromverbrauch Gebäude sonstiges	17.275	42,4 %	14.507	35,1 %	19.815	44,6 %
Stromverbrauch Wellness	75	0,12 %	157	0,38 %	100	0,23 %
Stromverbrauch Beleuchtung*	1.127	1,85 %	1.370	3,32 %	1.329	2,99 %
Stromverbrauch Warmwasser Wasserarmaturen*	239	1,38 %	612	1,48 %	555	1,25 %
Stromverbrauch Pumpen*	3.172	7,78 %	2.810	6,80 %	2.503	5,63 %
Stromverbrauch Grundwasserpumpe*	1.350	3,31 %	1.174	2,84 %	1.451	3,27 %
Stromverbrauch Solarpumpen*	303	0,75 %	270	0,65 %	245	0,55 %
Stromverbrauch Wärmepumpe*	7.448	18,3 %	6.940	16,8 %	7.141	16,1 %
Stromverbrauch Waschmaschine- Trocknung	504	1,2 %	889	2,15 %	820	1,85 %
Stromverbrauch Kühlschränke	2.338	5,7 %	2.885	6,99 %	2.478	5,58 %
Stromverbrauch Aufzug*	3.558	8,8 %	5.870	14,2 %	4.083	9,19 %
Stromverbrauch E- Ladestation	569	1,4 %	616	1,5 %	1.332	3,00 %
Stromverbrauch Nullenergiebilanz*	20.000	48,5 %	22.246	52,4 %	19.901	43,5 %
Stromverbrauch Gesamtenergiebilanz	40.761	100 %	41.300	100 %	44.446	100 %
	2017		2018		2019	
Wärmeerzeugung Wärmepumpe*	37.780	69,0 %	35.250	65,0 %	35.942	65,7 %
Wärmeerzeugung Solarthermie*	16.960	31,0 %	18.970	35,0 %	18.753	34,3 %
Summe Wärmeerzeugung	54.740	100 %	54.220	100 %	54.695	100 %
Stromerzeugung PV- Anlage*	28.590	97,8 %	33.800	99,85 %	32.698	99,5 %

kWh/a	2017		2018		2019	
Stromerzeugung Windkraftanlage*	60	0,22 %	0	0 %	3	0,01 %
Stromerzeugung Aufzug*	580	1,98 %	50	0,15 %	154	0,49 %
Stromauspeicherung Batterie	6.026	-	8.876	-	4.213	-
Summe Stromerzeugung	29.230	100 %	33.850	100 %	32.855	100 %
Überschuss Nullenergiebilanz*	+ 9.230	+ 48 %	+ 11.604	+ 56,5 %	+ 12.954	+70 %
Unterdeckung Gesamtenergiebilanz	- 11.531	-28 %	-7.450	-18 %	-11.591	-26 %
<u>Fußnoten:</u>						
* Nullenergie-Bilanz enthält nur die Energieaufwendungen für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug, Beleuchtung.						
(1) Arbeitszahl 12 bedeutet für 12 kWh Kühlleistung wird 1 kWh Strom benötigt (Wasserturm → freie Kühlung über Grundwasser)						
Energiebezugsfläche aquaTurm: 709 m ² exklusive Treppenhaus u. Flure zu den Hotelzimmern (inkl. 1.015 m ²)						

Abbildung 5 Energiebilanzen (Strom) des aquaTurms nach Planung und im dreijährigen Monitoring

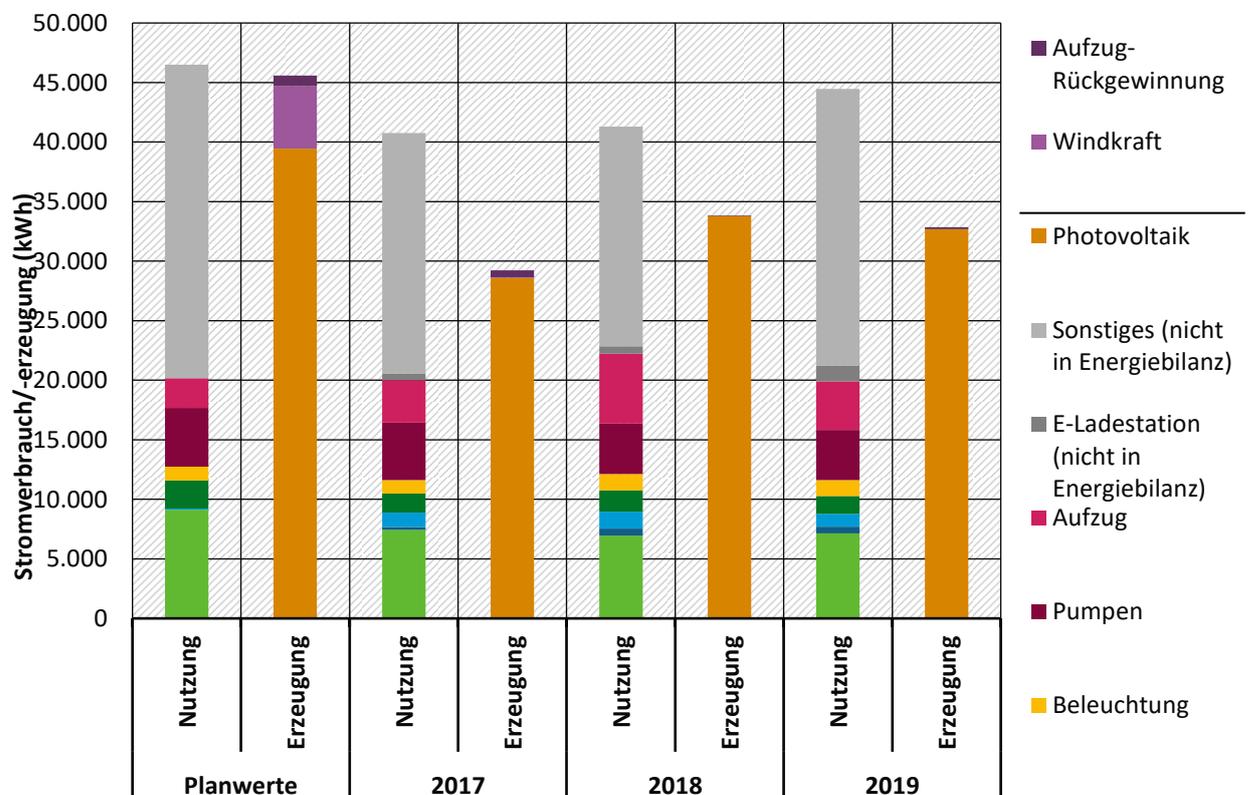
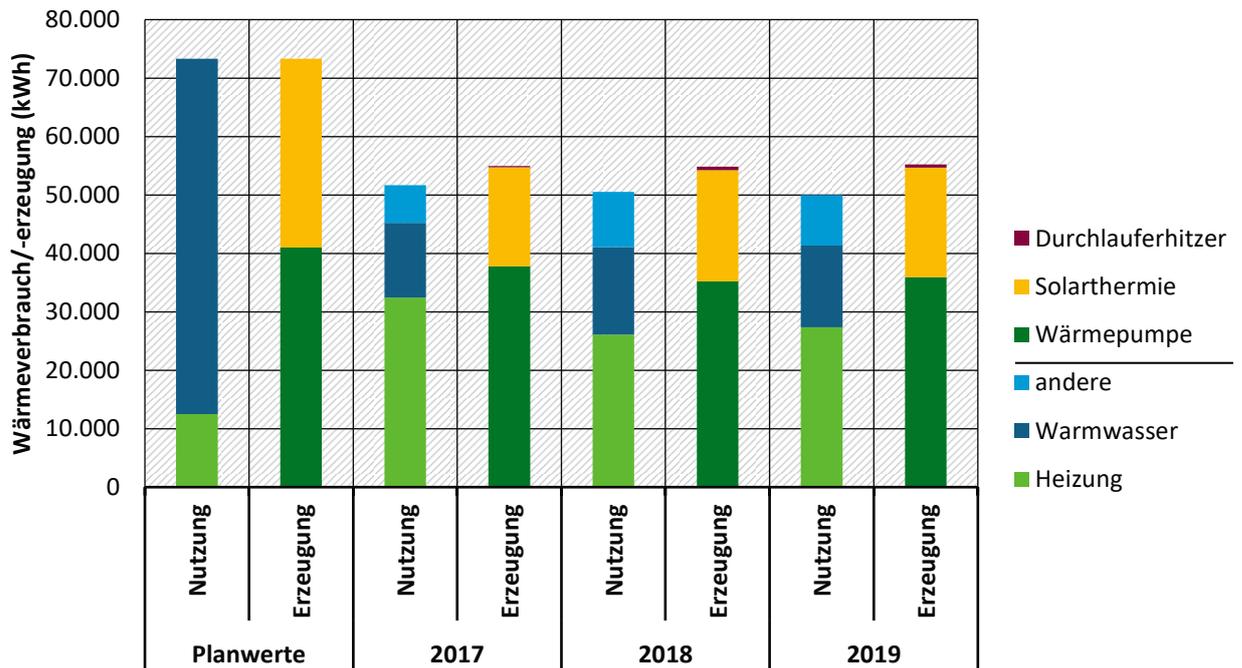


Abbildung 6 Energiebilanzen (Wärme) des aquaTurms nach Planung und im dreijährigen Monitoring



Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, wurde das energetisch angestrebte Ziel der Nullenergiehochhaus-Bilanz in allen 3 Messjahren erfolgreich erreicht. Leider hat sich der Gesamtstrombezug 2019 durch den Ausfall des elektrischen Speichersystems um 4.500 kWh/a erhöht. Die Stromautarkie lag 2017 bei 48,5 %, 2018 bei 52,5 % und 2019 bei 43,5 %. Für 2020 ist eine realistische Stromautarkie von 55 % bis 60 % angestrebt, sowie eine Unterdeckung zur Erzeugungsneutralität der Gesamtenergiebilanz von <15 % (ca. 7.000 kWh/a). Die Grundwasser-Wärmepumpe arbeitete mit einer Jahresarbeitszahl von 4,18 bis 4,34 (inkl. Stromverbrauch der Grundwasserpumpe).

Der Heizwärmeverbrauch lag 2017 bei 45,7 kWh/m²a, 2018 bei 36,8 kWh/m²a und 2019 bei 38,6 kWh/m²a um ca. 50 % höher als in den PHPP-Berechnungen. Die Ursache hierfür liegt an den höheren Wohlfühl- und Realtemperatur von 23 °C bis 24 °C gegenüber den berechneten 20 °C (Normraumtemperatur) im PHPP. Bei 23 °C Raumtemperatur steigt der berechnete Heizwärmebedarf von 15 auf 25 kWh/m². Dies löst wiederum höhere Vorlauftemperaturen bei der Wärmepumpe aus, sowie höhere Verteilungs- und Speicherverluste. Leider können diese Temperaturen nicht abgesenkt werden, da die Gästezufriedenheit unmittelbar darunter leidet und sofortige Beschwerden auslöst bzw. schon ausgelöst hat. Auf der anderen Seite konnte der Gesamtwärmeverbrauch (Heizung 38,6 kWh/m²a + Warmwasser 31,1 kWh/m²a) mit einer Einsparung von 23.416 kWh/a zu den berechneten Werten um 32 % reduziert werden. Dies ist vor allem auf die geringen Zapfleistungen der Duschen und Wasserarmaturen sowie den dezentral platzierten Frischwasserstationen und der Reduzierung der Zapftemperaturen von 60 °C auf 42 °C zu verdanken. Dies überkompensiert den höheren Heizwärmeverbrauch deutlich, da bei der Warmwasserbereitung die Wärmepumpe aufgrund

der höheren Vorlauftemperatur von 48 °C mit einer schlechteren Arbeitszahl arbeitet als bei der Erzeugung von Heizwärme.

Die Tabelle 2 vergleicht den Energieverbrauch der drei unterschiedlichen Energiestandards, dem Passivhausstandard (Berechnungsstand: 06.2013 für aquaTurm), einem aktuellen Neubau nach der noch gültigen EnEV 2013 und dem Energieverbrauch von Bestand-Hotels (nach Univ. Wuppertal/ F&P Consult gemittelt) anhand gemessener Realwerte.

Tabelle 2 Energiebilanzen von drei unterschiedlichen Energiestandards, mit und ohne regenerativer Energieerzeugung

kWh/a	Passivhaus- standard⁽⁴⁾ + PV/WP	EnEV 2013⁽⁵⁾ Erdgas	Bestands- Hotel⁽⁶⁾ Heizöl
Wärmeverbrauch Heizung	12.484	49.630 (~70 kWh/m ² a x 709 m ²)	-
Wärmeverbrauch Warmwasser	60.842	60.842	-
Summe Wärmeverbrauch	73.326	110.472	136.128
Stromverbrauch für Klimakälte	116 (1.386kWh/a/12) ⁽¹⁾	28.596 (121 kWh/m ² a x 709 m ² /3) ⁽²⁾	In Pos. Strom- verbrauch Geb.
Stromverbrauch Lüftung	2.362	0	In Pos. Strom- verbrauch Geb.
Stromverbrauch Pumpen	4.807	4.787	In Pos. Strom- verbrauch Geb.
Stromverbrauch Wärmepumpe	7425,8	0	0
Stromverbrauch Solarpumpen	139	0	0
Stromverbrauch Gebäude	21.112	26.334	69.482
Stromverbrauch Beleuchtung	1.148	1.148	In Pos. Strom- verbrauch Geb.
Stromverbrauch Aufzug	2.500	2.500	In Pos. Strom- verbrauch Geb.
Stromverbrauch Nullenergiebilanz⁽³⁾	18.498	37.031	Nicht ermittelbar
Stromverbrauch Gesamtenergiebilanz	39.610	63.365	69.482
Wärmeerzeugung	41.028	110.472	136.128
Wärmeerzeugung Solarthermie	32.298	0	0
Summe Wärmeerzeugung	73.326	110.472	136.128
Stromerzeugung PV- Anlage	39.448	0	0
Stromerzeugung Windkraftanlage	5.255	0	0

kWh/a	Passivhaus- standard⁽⁴⁾ + PV/WP	EnEV 2013⁽⁵⁾ Erdgas	Bestands- Hotel⁽⁶⁾ Heizöl
Stromerzeugung Aufzug	870	0	0
Summe Stromerzeugung	45.573	0	0
Fußnoten:			
(1) Arbeitszahl 12 bedeutet für 12 kWh Kühlleistung werden 1,0 kWh Strom benötigt (Wasserturm → freie Kühlung über Grundwasser)			
(2) Arbeitszahl 3 bedeutet für 3 kWh Kühlleistung werden 1,0 kWh Strom benötigt (Commerzbank Hochhaus 121 kWh/m ² a → Einsatz konventioneller Kältemaschinen), Anlage [1]			
(3) Nullenergiehochhaus- Bilanz (enthält Energieaufwendungen für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug, Beleuchtung)			
(4) Passivhausberechnung (Berechnungsstand: 06.2013 für aquaTurm), Anlage [2]			
(5) EnEV 2013 mit 70 kWh/m ² a Heizwärmeverbrauch und 121 kWh/m ² a Kühlenergie-verbrauch (Commerzbank Hochhaus, Anlage 1) berechnet			
(6) Energieverbrauch in der Hotellerie (Quelle: nach Univ. Wuppertal/ F&P Consult gemittelt) Anlage [3] anhand gemessener Realwerte			

Tabelle 3 fasst die Berechnungen der 3 Energiestandards zusammen und vergleicht diese prozentual mit dem realen Energieverbrauch und -erzeugung des aquaTurms aus dem Messjahr 2018.

Tabelle 3 Energiebilanzierung- Vergleich

Endenergieverbrauch kWh/a und %-Anteil auf 100 % des maximal Verbraucher-Erzeuger	Passivhausstandard ⁽¹⁾ + PV	aquaTurm Ergebnis 2018	EnEV 2013 ⁽²⁾	Bestands-Hotels ⁽³⁾
Summe Wärmeverbrauch	73.326 53,9%	49.910 36,7%	110.472 81,1%	136.128 100%
Stromverbrauch für Klimakälte	116 0,4%	1.410 4,9%	28.596 100%	Nicht bekannt
Stromverbrauch Nullenergiebilanz⁽⁴⁾	11.052 29,9%	22.246 58,5%	37.031 100%	Nicht ermittelbar
Stromverbrauch Gesamt	37.386 53,8%	41.300 59,4%	63.365 91,2%	69.482 100%
Summe Stromerzeugung	45.573 100%	33.850 74,3%	0 0%	0 0%
Energieüber- u. Unterdeckung zur Nullenergiebilanz⁽⁴⁾	+ 34.521 + 312%	+ 12.211 + 56,5%	- 63.365 -100%	-69.482 -100%
Fußnoten:				
(1) Passivhausberechnung (Berechnungsstand: 06.2013 für aquaTurm), Anlage [2]				
(2) EnEV 2013 mit 70 kWh/m ² a` Heizwärmeverbrauch und 121 kWh/m ² a` Kühlenergieverbrauch (Commerzbank Hochhaus (Anlage [1] berechnet)				
(3) Energieverbrauch in der Hotellerie (Quelle: nach Univ. Wuppertal/ F&P Consult gemittelt) Anlage [3] anhand gemessener Realwerte				
(4) Nullenergiehochhaus-Bilanz (enthält Energieaufwendungen für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug, Beleuchtung)				

Aus Tabelle 3 können folgende Ergebnisse zusammengefasst werden:

Gegenüber der Passivhausberechnung benötigt der aquaTurm ca. 50 % weniger Wärmeenergie, jedoch 10 % mehr Strom. Dies liegt vor allem an dem deutlich höheren Strombedarf für die Küchen-Kühltechnik, Aufzug und die nicht berücksichtigte Integration von 4 Ladepunkten für Elektrofahrzeuge. Die berechnete Gesamt- Stromerzeugung von 45.573 kWh/a konnte aufgrund der nicht funktionsfähigen Kleinwindkraftanlage, der gegenüber der PHPP-Berechnung um 14 % niedrigeren Ertragswerte der PV-Anlage und die um ca. 25 % geringere Energierückgewinnung der Aufzugsanlage nicht erreicht werden. Im direkten energetischen Vergleich zu 4-Sterne-Hotels spart das aquaTurm-Hotel 64 % Wärme und 40 % Strom ein und erzeugt darüber hinaus noch ca. 34.000 kWh/a erneuerbaren Strom.

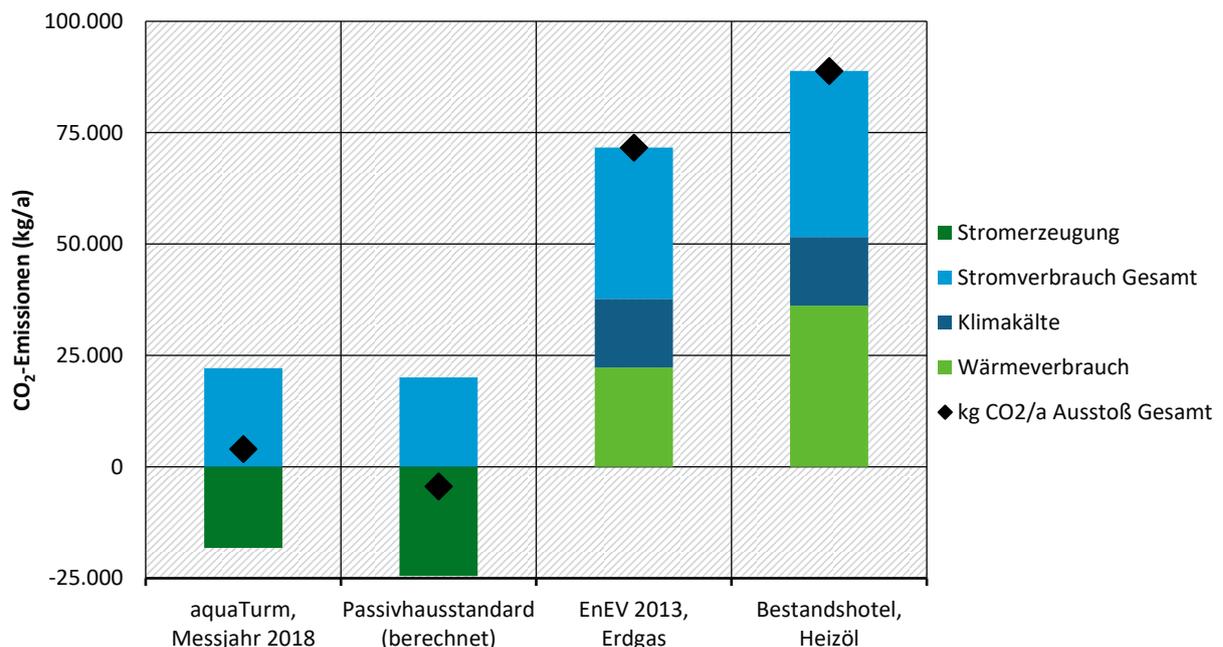
3.3. Umweltbilanz

Tabelle 4 stellt die CO₂-Einsparungen der 3 unterschiedlichen Energiestandards zusammen und vergleicht diese prozentual mit dem realen Energieverbrauch und -erzeugung des aquaTurms aus dem Messjahr 2018.

Tabelle 4 CO₂ Einsparungen aquaTurm im Vergleich zu anderen Energiestandards

kg CO ₂	Passivhaus- standard + PV/WP	aquaTurm Ergebnis + PV/WP	EnEV 2013 Erdgas	Bestands- Hotel Heizöl
Wärmeverbrauch	0	0	22.315,3	36.210,1
Klimakälte	0	0	15.356,1	Nicht bekannt (15356,1)
Stromverbrauch	20.076,3	22.178,1	34.024,0	37.311,8
Stromerzeugung	-24.472,7	-18.177,5	0	0
kg CO₂/a Ausstoß Gesamt	-4.396,4 -6 %	4.000,6 5,4 %	71.695,4 97,5 %	73.521,9 100 %
kg CO₂/a Einsparungen zu Bestands- Hotels	-77.918,3 -106 %	-69.521,3 -94,6 %	-1.826,5 -2,5 %	0 0 %
Quelle der CO ₂ -Faktoren: Bafa, Merkblatt zu den CO ₂ -Faktoren, Anlage [4]				

Abbildung 7 CO₂-Bilanz



Die Nullenergiebilanz des aquaTurm erreicht in Kombination mit dem großen Anteil an regenerativer Energieerzeugung eine CO₂-Einsparung im Gebäudebetrieb gegenüber dem EnEV-Standard von 67,7 Tonnen CO₂ (-94,4 %) pro Jahr im Vergleich zu einem 4-Sterne-Bestandshotel sogar eine Einsparung von 69 Tonnen CO₂ (-93,8 %) pro Jahr.

Weitere bedeutende CO₂ Einsparungen konnten über folgende ressourceneffiziente Maßnahmen und Bauprodukte erreicht werden:

Tabelle 5 CO₂ Einsparungen Beton (CEM III/A-B gegenüber CEM I 32,5)

CEM I 32,5 = 560 CO ₂ kg/to. 1 m ³ Beton enthält 300 kg Zement	CEM III/A-B = 168 CO ₂ kg/to. CO ₂ Einsparung/ to. Zement = 392 kg		
Beton m ³	Zement kg/ to.	- CO ₂ kg/ to.	- CO ₂ kg
800	x 300	x 392	= 94.000
Gesamteinsparung CO₂ durch Beton (kg)			94.000
Total kg			94.000
Quelle: de.statista_co2_emissionen_zement_deutschland, Anlage [5]			

Weitere Ressourceneffizienz-Maßnahmen:

Die Grundlage für die Umnutzung des Wasserturms bildet die Intention, den vorhandenen Gebäudebestand (75 % der Baumasse) sowie den Neubaubereich mit dem geringstmöglichen Ressourcen- und Energieeinsatz klimatisch angepasst und komfortabel zu betreiben.

Bei der Planung, Herstellung und Betrieb von hocheffizienten Gebäuden wie dem aquaTurm erhält die "Graue Energie", die Energie die für die Herstellung des Gebäudes und die notwendigen Baustoffe, eine immer größere Bedeutung. Bei diesem Projekt wurden durch folgende Maßnahmen und Produkte bedeutende Ressourceneinsparungen gegenüber einem baulich identischen, konventionellen Neubau erzielt:

- Erhalt des 21 m hohen Turmschaftes/Fundament und
- Einsparung eines gleichwertigen Neubaus aus Stahlbeton,
- CO₂ reduzierter Beton (CEM IIIa/ CEM IIIb) gg. CEM I (vgl. *Tabelle 5*),
- Holzbauteile u. Recyclingholzersatzstoffe statt Stahl/ Beton,
- Steinwolle- statt Glaswolle-Dämmung (nicht brennbare Dämmung wegen Hochhaus),
- Holzfenster statt Alu- bzw. Kunststofffenstern,
- Reiner Tonputz (Heilerde) statt Gips u. Kalk.

Auf eine genaue rechnerische Ermittlung der oben genannten Maßnahmen zur CO₂ Einsparung wurde an dieser Stelle verzichtet, da dies in der dargestellten Differenziertheit nur sehr schwer und nicht zufriedenstellend genau möglich war.

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die nachfolgenden Tabelle sollen einen Energiekostenvergleich zwischen einem energetischen Standardhotel auf Basis von realen Energiedaten und dem aquaTurm Hotel mit Messdaten aus 2018 ermöglichen.

Tabelle 6 Energiekosten Aquatum-Hotel 2018

Energiebezugsfläche⁽¹⁾:		709	m²
Bezeichnung	kWh	€/kWh	€
Strombezug (inkl. Wärme/ Kälte etc.) ⁽²⁾	19.660,00	0,22 ⁽⁴⁾	4.226,90
- PV Einspeisung ⁽³⁾	10.900,00	0,12 ⁽⁵⁾	1.308,00
Gesamt			2.918,90

Fußnoten:
 (1) Klimatisierte Nutzfläche + exkl. Treppenhaus u. Fluren zu den Hotelzimmern (1.015m² inkl.)
 (2) Gesamtstromverbrauch aquaTurm Hotel 2018 (Tabelle 1.)
 (3) PV- Einspeisung aquaTurm Hotel n. Messung Stadtwerke Radolfzell, Anlage [6]
 (4) Netto Stromeinkaufspreis (100% Wasserkraft) für aquaTurm Hotel
 (5) Feste Einspeisevergütung €/kWh Netto für PV- Strom aquaTurm Hotel

Tabelle 7 Energiekosten Muster-Hotel I

Energiebezugsfläche⁽¹⁾:	709	m²	
Durchschnittlicher Wärmeverbrauch*:	144	kWh/m²a	
Durchschnittlicher Stromverbrauch*:	76	kWh/m²a	
Bezeichnung	kWh	€/kWh	€
Stromverbrauch	53.884,00	0,22	11.854,48
Wärmeverbrauch	102.096,00	0,077 ⁽²⁾	7.861,39
Gesamt €			19.715,87

Fußnoten:
 (1) Univ. Wuppertal, Energieverbrauch in der Hotellerie, Anlage [3]
 (2) de.statista, Durchschnittlicher Fernwärmepreis Deutschland 2018, Anlage [7]

Tabelle 8 Energiekosten Muster-Hotel II

Energiebezugsfläche⁽¹⁾:	709	m²	
Durchschnittlicher Wärmeverbrauch⁽²⁾:	240	kWh/m²a	
Durchschnittlicher Stromverbrauch⁽²⁾:	120	kWh/m²a	
Bezeichnung	kWh	€/kWh	€
Stromverbrauch	85.080,00	0,22 ⁽⁴⁾	18.717,60
Wärmeverbrauch	170.160,00	0,077 ⁽³⁾	13.102,32
Gesamt €			31.819,92

Fußnoten:
 (1) Klimatisierte Nutzfläche + exkl. Treppenhaus u. Fluren zu den Hotelzimmern (1.015m²)

(2) F&P Consult, Energieverbrauch von Hotels, Anlage [3]
(3) de.statista, Durchschnittlicher Fernwärmepreis Deutschland 2018, Anlage [7]
(4) Netto Stromeinkaufspreis (100% Wasserkraft) für aquaTurm Hotel

Tabelle 9 Jährliche Energiekosteneinsparung Aquaturm-Hotel zu Muster-Hotels I und II

UNIV. WUPPERTAL ⁽¹⁾	16.796,97€
F&P CONSULT ⁽²⁾	28.901,02€
GEMITTELT €	22.849,00€
INSGESAMT NACH 25 JAHREN MIT JÄHRLICH 3 % STEIGERUNG	858.049,31€

Fußnoten:

(1) Univ. Wuppertal, Energieverbrauch in der Hotellerie, Anlage [3]

(2) F&P Consult, Energieverbrauch von Hotels, , Anlage [3]

Investitionskostenvergleich Niedrigenergiehochhaus (EnEV) gegenüber Nullenergiehochhaus

Folgende Mehrinvestitionen ergeben sich zwischen einem Hochhausumbau nach dem Stand der Technik und einem Nullenergiehochhaus wie dem aquaTurm.

Tabelle 10 Darstellung der Investitionsmehrkosten

Baukosten Nullenergiehochhaus Kostenberechnung 07.13*, Anlage [8]	2.927 T€
Baukosten Niedrigenergiehochhaus Kostenberechnung 07.13**, Anlage [9]	2.192 T€
Zu amortisierende Mehrkosten ohne Verzinsung u. Zuschüsse	735 T€

Die berechneten Mehrinvestitionskosten von 735.000€ werden rein über die Energiekosteneinsparungen nach ca. 22 Jahren amortisiert sein. Dies stellt für diesen hochkomplexen Umbau und die schwierige wirtschaftliche Ausgangslage mit einem sehr geringen Nutzflächenverhältnis zur Erschließungsfläche, wie beim aquaTurm eine zufriedenstellende kapitalisierte Rücklaufzeit der Mehrinvestitionen dar.

Weitere schwerwiegendere wirtschaftliche Vorteile des Nullenergiehochhauses ergeben sich durch die geringeren Energiepreissteigerungen sowie die niedrigen Wartungs- und Instandhaltungskosten, insbesondere bei der Fassade, die aufgrund der PV- und Metalloberflächen so gut wie nicht verwittert. Renovationskosten für eine konventionelle Putzfassade nach 20 Jahren bei einer Fassadenfläche von 2.000 m² würden sich auf ca. 200.000 € belaufen. Betrachtet man das auf eine mittlere Lebenszeit der Fassade von 40 Jahren wie bei Dachflächen, ergeben sich Einsparungen in Höhe von 400.000 €. Durch die 2 Flügel der Verbundfenster werden ebenfalls bei der Wartung und Pflege des integrierten Sonnenschutzes erhebliche Kosten gegenüber einem außenliegendem Sonnenschutzsystem eingespart, da aufgrund der außenliegenden nicht mehr zugänglichen Lage der Motoren, Endschalter und Antriebsgestänge immer eine kostenintensive 45 m hohe LKW- Hebebühne erforderlich wäre.

Vor allem der stetig steigende Klimatisierungsbedarf in der Hotellerie, bedingt durch höhere Behaglichkeitsansprüche der Hotelgäste und die immer längeren und extremeren

Heißwetterperioden, führen bei konventionellen Kälteversorgungskonzepten (Kompressionskälteanlagen) zu überdurchschnittlich hohen und rasant ansteigenden Klimatisierungskosten. Das geothermisch basierte Kühlsystem des aquaTurm und die hochwärmedämmende Gebäudehülle mit der schweren Gebäudemasse hingegen bieten über die Flächenkühlung eine behagliche und natürliche Kühlung an, die mit nahezu konstanten und extrem niedrigen Klimatisierungskosten (ca. 300 €/a) punkten kann.

Des Weiteren werden mögliche Strompreissteigerungen beim aquaTurm weitaus geringere Energiemehrkosten verursachen als bei Standardhotels, da das Energiekonzept des aquaTurm 55-60 % des verbrauchten Stroms durch erneuerbare Energien selbst erzeugt und zwischenspeichert.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die Vorgaben der Energieeinsparverordnung unterschreitet der umgebaute Wasserturm mit seinem innovativen Nullenergiekonzept und der tatsächlichen Energieerzeugung und -verbrauch um ca. 80 %. Dies wurde durch den Einsatz von Passivhaustechnik, die konsequente Integration von erneuerbaren Energien in die Gebäudehülle und die hocheffiziente Optimierung des Wärme-, Kälte- und Stromverbrauch für den Hotelbetrieb erreicht. Hierdurch werden erhebliche Energie- und CO₂-Einsparungen von bis zu 61 t CO₂/a gegenüber den verglichenen Energiestandards (EnEV/Bestandshotel) erzielt. Das neuartige an dem Turmumbau und der Sanierung ist die innovative Kombination mehrerer hocheffizienter Einzel- u. Gesamtmaßnahmen:

- eine hochwärmedämmte, solar aktive Gebäudehülle mit Photovoltaik und Solarthermie,
- eine Windkraftanlage,
- eine 5-fach verglaste Alu-Holzverbundfensterfassade mit witterungsgeschütztem Sonnenschutz und solarbetriebener, saisonaler Hinterlüftung über Thermoschieber,
- das dezentrale Warmwasserkonzept als Kleinanlage mit Absenkung der Zapftemperatur von 60 °C auf 42 °C,
- die Kleinst-Durchlauferhitzer für die Waschbecken mit 0,7-1,7 l/min. Zapfleistung,
- das natürliche Kühlkonzept über eine geothermisch betriebene Flächenkühlung, die auch zur Kondensationskälte der Wäschetrocknung eingesetzt wird,
- die Integration eines kleinen saisonalen Wärmespeichers aus Glasfaserverbundmaterial mit effizientem Schichtenladerohr für hohe solare Deckungsgrade, sowie
- das intelligente Steuerungs- und Regelungskonzept, das über frei programmierbare Regelungen in der Summe ein Anlagenkonzept entstehen lässt, das im Sanierungs- und Hotelbereich eine bis dato einzigartige technischen Anlagenkombination darstellt.

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Durch die großzügige Planungszeit, den eisernen Umsetzungswillen des Bauherren und das unerschütterliche Vertrauen der Förderinstitutionen sowie die ganzheitliche, disziplinübergreifende Planung der Energie- und Gebäudetechnik konnte eine hocheffiziente Planungstiefe erreicht werden, die die Qualität der Energie- und Ressourceneffizienz des aquaTurm maßgeblich positiv beeinflusst haben. Des Weiteren konnten durch die hohe Eigenleistung des familiengeführten Bauunternehmens die Kosten bei diesem bautechnisch herausfordernden Projekt gut kontrolliert sowie die Ausführungsqualität sehr hoch gehalten werden. Die erreichten energetischen und qualitativen Förderziele unterstreichen diese Feststellung. Auch bei diesem Projekt wurden nicht alle technischen Anforderungen und Ziele zufriedenstellend erreicht. Dies möchten wir mit den beiliegenden Punkten festhalten und die gemachten Erfahrungen weitergeben:

- Größere Hinterlüftungsquerschnitte für den sommerlichen Hitzeschutz der Verbundfensterfassade, um die Scheibenzwischenraumtemperaturen weiter zu reduzieren < 40 °C,
- Einzelraumthermostate mit geringeren Funktionsmöglichkeiten für die Hotelgäste, da diese immer wieder verstellt werden,
- Wasserspararmaturen um eine geeignete Thermostatmischung ergänzen,
- Längeres Klarspülen der geothermischen Entnahme- und Schluckbrunnen, um einer Versandung vorzubeugen,
- Kein sinnvoller Einsatz von vertikalen Windkraftanlagen aus Fernost, da die technische und energetische Effizienz und Produktqualität der Anlagen noch ungenügend sind. Die prognostizierten Stromerträge mit ca. 5.000 kWh/a wird die vertikale Kleinwindkraftanlage bei Weitem nicht erreichen. Mit einem dauerhaften Realbetrieb der neuen TÜV- zertifizierten Anlage kann leider erst in 2020 gerechnet werden. Wir rechnen mit einer Erzeugungsleistung von ca. 100 kWh/a.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Nahezu alle eingesetzten energieeffizienten Bautechniken, Produkte und Planungsstandards, die beim aquaTurm zum Einsatz kamen, wurden in 3 weiteren Plusenergieprojekten umgesetzt bzw. sind in 3 aktuellen Neubauprojekten in Planung. Das verantwortliche Architektur- und Ingenieurbüro für den aquaTurm hat sich zu 100 % der ressourceneffizienten Planung und Herstellung von innovativen Plusenergiegebäuden und zukunftsfähigen Energiekonzepten verschrieben. Das Wissen und die Erfahrungswerte hierzu werden über energetische Hausführungen im aquaTurm, über Fachvorträge und wissenschaftlichen Verbindungen zu Hochschulen vielschichtig weitergegeben.

Über das Projekt berichteten mehrere Artikel in Zeitungen und Fachzeitschriften, zum Beispiel

- Vortragsreihe „Energie aber Wie“ der Architekten- u. Ingenieurskammer BW

- Vortrag bei Zukunft Altbau in Stuttgart, November 2019.
- SWR Filmbeitrag bei „Expedition in die Heimat“ Radolfzell September 2018
- „Turmprojekt mit Haustechnik-Showroom“, in: IKZ Energy 3/2014, S. 18-20
- Jaraus, Gerald: „Mit dem Aquaturm ist ein neues Wahrzeichen fertig“, in: Südkurier 3.4.2017
- „Zum Hotel umgebauter Wasserturm in Radolfzell versorgt sich vollständig selbst mit Energie“, 2.8.2017, <https://www.baulinks.de/webplugin/2017/1203.php4>
- Pfäffinger, Jörg: „aquaTurm – Hotel in Radolfzell als Nullenergie-Hochhaus“, in: EB-Praxis, 19.9.2017
- „Energieautark mit Aussicht – Hotel im Wasserturm Radolfzell“, in: bba, 6.9.2018
- „Radolfzell: Vom alten Wasserturm zum Energiespar-Hotel“, in: bba, 2.7.2019
- „Gebäudeintegrierte Photovoltaikfassade für Nullenergiestandard: aquaTurm in Radolfzell - Vom Wasserturm zum Hightech-Hotel“, in: Fachportal vorgehängte hinterlüftete Fassaden, ohne Datum, <https://www.fvhf.de/Fassade/Referenzen/VHF-Hotel-aquaTurm.php>

Damit konnte eine nennenswerte Verbreitung des Projektes erreicht werden.

Ein bautechnisches Großprojekt mit einem erheblich, fortschrittlicherem Innovationsgrad ist in unmittelbarem Zusammenhang aus dem aquaTurm in Entstehung, weshalb an dieser Stelle im Kontext der Übertragbarkeit genauer darauf eingegangen wird.

Das Wohnquartier "Hübsches Dörfle" ist ein neuartiger urbaner Ansatz, Mehrgenerationen wie Singles, Paare, Familien und Wohnen im Alter (bis Pflegegrad 5) mit hohem individuellen und selbstbestimmten Wohnkomfort in Form einer hotelartigen Nutzung (Bäcker-Cafe, Fitness, Schwimmbaden) in einem ganzheitlich nachhaltigen Quartier zu verbinden. Die Wohnungen sind als Hybridgrundrisse konzipiert, das heißt es können auf einem Geschoss 4 große Wohnungen, 6 mittlere oder bis zu 8 kleine Apartments eingerichtet werden, ohne die Tragstruktur des Gebäudes zu verändern. Somit können die Wohnungsgrößen individuell durch Holzmodulwände an die Lebenssituationen (Singles, Familien, Senioren) der Bewohner angepasst werden. Die Wohnanlage soll im Plusenergiestandard mit einem neuartigen geothermischen, sensiblen Wärmespeicher ausgestattet werden, der als thermischer und elektrischer Langzeit-Quartiersspeicher durch ein innovatives und hocheffizientes Power-to-Heat- (25 °C bis 110 °C) und Heat-to-Power- (110 °C bis 70 °C) Konzept genutzt werden kann. Aufgrund des immensen thermischen Speicherpotenzials (70 MWh_{TH} + 3,3 MWh_{EL}) und der kreativen Kombination von Standardtechniken ist es erstmalig möglich, die gesamte erzeugte regenerative Energie langfristig und kostengünstig (ca. -80 % niedrigere Kosten im Vergleich zu einem üblichen Stromspeicher) im Wohnquartier elektrisch und thermisch hocheffizient einzuspeichern, um auf eine Einspeisung ins öffentliche Netz zu verzichten. Zugleich erfüllt dieses Energiekonzept einen das Stromnetz stabilisierenden Nutzen durch effiziente Spitzenlastkappung und vermeidet die kostenintensive Installation eines Mittelspannungsanschlusses wie auch die EEG-Umlage auf den Mieterstrom. Ein hybrides Mikronetz versorgt nahezu autark die Anlage mit 100 % regenerativer Wärme, Kälte und

Strom. Energieverbrauch und -erzeugung des Quartiers sollen über eine einfache und kostengünstige GLT-Anlage effizient geregelt werden und durch Energie-Tablets in den Wohnungen mit angeschlossenem Verbraucherranking zu einem Energiesparwettbewerb anregen, um eine Energieautarkie von über 80 % zu erreichen. Die notwendigen Baustoffe für die Gebäudekonstruktion sollen ebenfalls bedeutende Ressourcen und Herstellungsenergie einsparen. Dies geschieht über einen weiter entwickelten CO₂-reduzierten Recyclingbeton (-70 % CO₂), sowie einem ausgedämmten, 100 % recyclingfähigen Ziegel, der mit 36,5 cm Wandstärke (Maximierung der Wohnfläche, Minimierung der Kosten) einen passivhaustauglichen U-Wert von 0,155 W/m²K erreicht. Urban Gardening in Form von einem zentralen Gewächshaus für die Gemeinschaft auf einer im Garten integrierten Insel sowie private Gewächshäuser in den größeren Wohnungen sollen zu einem nachhaltigem Lebens- u. Ernährungsstil animieren und das Mikroklima durch naturnah angelegte Insektenwiesen und Wasserflächen fördern. Gemeinschaftliches Car Sharing, E-Mobilität und große Fahrradräume mit E-Bike Anschlüssen sollen zur einem nachhaltigen und gesunden Mobilitätsverhalten anregen. Soziale, kreative, sportliche und gemeinschaftliche Angebote, die sowohl von dem Betreiber wie auch den Bewohner der Wohnanlage organisiert werden, sollen die Wohngemeinschaft und das harmonische und hilfsbereite Zusammenleben fördern. Unter diesen Voraussetzungen kann ein Wohnquartier entstehen, das in vielfacher Hinsicht Vorbildcharakter entwickeln kann und auf viele soziale, demographische, räumliche und klimatische Herausforderungen der Zukunft eine Antwort bietet.

Somit findet aus dem Förderprojekt aquaTurm auf mehreren Ebenen eine direkte Übertragbarkeit in die Energie-, Bau- und Wohnwirtschaftlichen Branchen statt, die zum einen in die Marktbreite übertragen wurden und zum anderen neue innovative Weiterentwicklungen angestoßen haben, die in eine weitere Realisierungsphase übertragen werden sollen, vielleicht auch mit erneuter Unterstützung durch das Umweltinnovationsprogramm.

5. Zusammenfassung

- Einleitung

Die Privatperson Jürgen Räßle ist seit über 35 Jahren in der Baubranche tätig. Für die Sanierung des Wasserturms wurde durch ihn und seine beiden Söhne ein eigenes Bauunternehmen (Räßle & Söhne) mit 2 Mitarbeitern gegründet, um den komplexen Umbau umzusetzen.

Der Wasserturm in Radolfzell wurde 1956 zur Wasserbevorratung für die Milchwerke GmbH erbaut. Die Stilllegung des Turms fand 1979 statt, womit er auch seine Funktion als Wasserhochbehälter verlor. Über 30 Jahre des Verfalls haben unübersehbare äußerliche Spuren hinterlassen und verpflichteten dazu, dieses herstellungsintensive Bauwerk umzunutzen.

Die zum damaligen Zeitpunkt gültige Energieeinsparverordnung (EnEV 2007) wies für Nichtwohngebäude relativ hohe Energieverbräuche auf. Da der Betrieb von Gebäuden ca. 35 % bis 40 % des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland ausmacht, sollte dieser deutlich unterschritten werden und des Weiteren aufzeigen, dass Nichtwohngebäude im Bestand auch mit einer energieintensiven Nutzung (hier Hotel) zu einem Großteil (> 80 %) mit selbst erzeugter, regenerativer Energie versorgt werden können.

- Vorhabenumsetzung

Projektziel ist der Umbau eines ehemaligen Wasserturms zu einem Nullenergiehochhaus* mit Hotelbetrieb (*umfasst Energieaufwendungen für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug, Beleuchtung). Gemäß der damals gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV 2007) durften Nichtwohngebäude einen Primärenergiebedarf von bis zu ca. 230 kWh/(m²a) aufweisen. Dieser energetische Maßstab sollte mit dem zukünftig sanierten Wasserturm um ca. 80 % unterschritten werden, um aufzuzeigen, dass bei Nichtwohngebäuden, insbesondere im Gebäudebestand, immense Energie- und CO₂-Einsparungen gegenüber dem Stand der Technik möglich sind. Ein weiteres energetisches Ziel war es, am Gebäude mehr regenerative Energie (Sonne, Wind, Geothermie) zu erzeugen als die Gebäudetechnik für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Pumpen, Aufzug und Beleuchtung verbraucht. Auch im Bereich der Baumaterialien sollten durch CO₂-reduzierten Beton, Recyclingwerkstoffe, Holz-/Alu-Fenster, mineralische Dämmung, Ton statt Gips u. Kalk deutliche Ressourcen- und Energieeinsparungen erzielt werden.

Beim Umbau des alten Wasserturm (Bestandsgebäude) zu einem Nullenergiehochhaus wurde dies insbesondere durch den Einsatz von Passivhaustechnik erreicht sowie durch die konsequente Integration von erneuerbaren Energien in die Gebäudehülle und die hocheffiziente Optimierung des Wärme-, Kälte- und Stromverbrauchs. Hierdurch können in einem Hotelbetrieb erhebliche Einsparungen (ca. 80 %) im Energieverbrauch, den Kosten und bei den CO₂-Emissionen erzielt werden.

- Ergebnisse

In allen 3 Betriebsjahren (01.01.17 - 31.12.19) zur wissenschaftlichen und messtechnischen Begleitung und Auswertung des aquaTurm- Hotels konnte das energetisch angestrebte Ziel Nullenergiehochhaus erreicht werden.

Die nachfolgende Tabelle stellt eine Zusammenfassung der Messdaten der vergangenen drei Jahre dar, mit prozentualer Verteilung des jeweiligen Verbrauchs- bzw. Erzeugungsanteils an dem spezifischen Gesamtwert.

Tabelle 11 Zusammenfassung des Endenergieverbrauch- u. Erzeugung des aquaTurm- Hotel über die 3 Messjahre

kWh/a	Messjahre		
	2017	2018	2019
Summe	51.433	49.910	49.401
Wärmeverbrauch*			90,3%

kWh/a	Messjahre					
	2017		2018		2019	
Stromverbrauch Nullenergiebilanz*	19.762		21.639 52,4%		19.349	
Stromverbrauch Gesamtenergiebilanz	40.761		41.300		44.446	
Energieerzeugung kWh/a`	2017		2018		2019	
Summe	54.740		54.220		54.695	
Wärmeerzeugung	100%		100%			
Summe Stromerzeugung	29.230		33.850		32.855	
Überschuss Nullenergiebilanz*: Überschuss	+ 9.468	+ 48 %	+ 12.211	+ 56,5 %	+ 13.506	+70 %
Gesamtenergiebilanz: Unterdeckung	- 11.531	-28 %	-7.450	-18 %	-11.591	-26 %

Durch den Umbau des alten Wasserturm zu einem Nullenergiehochhaus und den Einsatz von Passivhaustechnik sowie die konsequente Integration von erneuerbaren Energien in die Gebäudehülle und die hocheffiziente Optimierung des Wärme-, Kälte- und Stromverbrauchs in einem Hotelbetrieb konnte der Energieverbrauch um ca. 80 % gegenüber einem Standard Hotel nach EnEV reduziert werden. Insbesondere das realisierte Messkonzept war entscheidend für die Auswertung und Optimierung des Energieverbrauchs verantwortlich.

Die Nullenergiebilanz des aquaTurm erreicht in Kombination mit seinem großen Anteil an regenerativer Energieerzeugung eine CO₂-Einsparung im Gebäudebetrieb gegenüber dem EnEV-Standard von 59,3 Tonnen CO₂ (-80,5 %) pro Jahr und im Vergleich zu einem Bestandshotel sogar eine Einsparung von 61 Tonnen CO₂ (-83,1 %) pro Jahr.

Tabelle 12 CO₂ Einsparungen aquaTurm im Vergleich zu anderen Energiestandards mit prozentualer Verteilung

CO ₂ Einsparungen aquaTurm vs. andere Energiestandards				
kg CO ₂ /kWh	Passivhaus- standard + PV/WP	aquaTurm Ergebnis + PV/WP	EnEV 2013 Erdgas	Bestand- Hotels Heizöl
Wärmeverbrauch	8.725,8	5.939,3	22.315,3	36.210,1
Klimakälte	62,3	757,2	15.356,1	Nicht bekannt
Stromverbrauch Gesamt	20.076,3	22.178,1	34.024,0	37.311,8
Stromerzeugung	-22.194,1	-16.485,0	+/- 0	+/- 0
kg CO ₂ /a Ausstoß Gesamt	6.670,3	12.389,6	71.695,4	73.521,9

	9,1%	16,9%	97,5%	100%
kg CO₂/a Einsparungen zu Bestand- Hotels	-66.851,6	-61.132,3	-1.826,5	0
	-90,9%	-83,1%	-2,5%	0%

Weitere CO₂ Einsparungen konnten über CO₂-emissionsarme Bauprodukte erreicht werden, die beim vorausschauenden Einsatz zur Herstellung und Sanierung von Gebäuden bedeutende CO₂ Einsparung leisten können.

Die aus den Energie- u. CO₂ Einsparungen resultierenden, niedrigen Energiekosten stellen Tabelle 13 und Tabelle 14 dar.

Tabelle 13 Jährliche Energiekosteneinsparung Aquaturm-Hotel gegenüber Muster-Hotels I+II

UNIV. WUPPERTAL*	16.796,97€
F&P CONSULT**	28.901,02€
GEMITTELT	22.849,00€
NACH 25 JAHREN M. 3% JÄHRLICHER STEIGERUNG	858.049,31€
<u>Quellen:</u>	
* Univ. Wuppertal, Energieverbrauch in der Hotellerie, Anlage [3]	
** F&P Consult, Energieverbrauch von Hotels, Anlage [3]	

Tabelle 14 Darstellung der Mehrkosten

Baukosten Nullenergiehochhaus Kostenberechnung 07.13*, Anlage [8]	2.927 T€
Baukosten Niedrigenergiehochhaus Kostenberechnung 07.13**, Anlage [9]	2.192 T€
Zu amortisierende Mehrkosten ohne Verzinsung u. Zuschüsse	735 T€

Die berechneten Mehrinvestitionskosten von 735.000 € werden rein über die Energiekosteneinsparungen nach ca. 22 Jahren amortisiert sein. Dies stellt für diesen hochkomplexen Umbau und die schwierige wirtschaftliche Ausgangslage mit einem sehr geringen Verhältnis von Nutzfläche zur Erschließungsfläche wie beim aquaTurm eine zufriedenstellende kapitalisierte Rücklaufzeit der Mehrinvestitionen dar.

Somit ist mit dem Umbau des aquaTurm eine erfolgreiche energetische Sanierung gelungen, die für Bestandsgebäude vor allem mit energie- u. emissionsintensiver Nutzung ein erstrebenswertes Beispiel darstellt, wie Klimaschutz, Energie- und Ressourceneinsparung auch bei komplexen Vorhaben wirtschaftlich umgesetzt werden kann.

– **Ausblick**

Nahezu alle eingesetzten energieeffizienten Bautechniken, Produkte und Planungsstandards, die beim aquaTurm zum Einsatz kamen, konnten in der Praxis erfolgreich eingesetzt werden und wurden und werden in 6 weiteren Plusenergieprojekten umgesetzt. Das verantwortlich Architektur- und Ingenieurbüro für den aquaTurm hat sich

mit Überzeugung der ressourceneffizienten Planung und Herstellung von innovativen Plusenergiegebäuden und zukunftsfähigen Energiekonzepten verschrieben und wird diese in kommenden Projekten weiterhin konsequent umsetzen. Des Weiteren werden das Wissen und die Erfahrungswerte hierzu über energetische Hausführungen im aquaTurm, über Fachvorträge und wissenschaftlichen Verbindungen zu Hochschulen vielschichtig weitergegeben.

Ein bautechnisches Großprojekt mit einem erheblich, fortschrittlicherem Innovationsgrad ist in unmittelbaren Zusammenhang aus dem aquaTurm in Entstehung.

Somit findet aus dem Förderprojekt aquaTurm auf mehreren Ebenen eine direkte Übertragbarkeit in die Energie-, Bau- und Wohnwirtschaftlichen Branchen statt, die zum einen in die Marktbreite übertragen wurden und zum anderen neue innovative Weiterentwicklungen angestoßen hat.

6. Summary

- Introduction

The private Jürgen Räßle has been working in the construction industry for over 35 years. He and his two sons founded their own construction company (Räßle & Söhne) with 2 employees for the renovation of the water tower in order to implement the complex conversion.

The water tower in Radolfzell was built in 1956 to supply water for the Milchwerke GmbH. The tower was closed down in 1979, which meant that it also lost its function as an elevated water reservoir. More than 30 years of decay have left unmistakable external traces and forced us to reuse this valuable building.

The Energy Saving Ordinance (EnEV 2007) valid at the time had relatively high energy consumption for non-residential buildings. Since the operation of buildings accounts for approximately 35 % to 40 % of total energy consumption in Germany, this figure should be significantly lower and it should also show that this non-residential stock building with energy-intensive use (here as a hotel) can also be supplied to a large extent (>80 %) with self-generated renewable energy.

- Project implementation

Goal of the project is the conversion of a former water tower into a zero-energy* high-rise with hotel operation (*includes energy for heating, hot water, cooling, ventilation, pumps, elevator and lighting). According to the Energy Saving Ordinance (EnEV 2007) valid at that time, non-residential buildings were allowed to have a primary energy requirement of up to approx. 230 kWh/(m²a). This energy standard was to be undercut by approx. 80 % with the renovation of the water tower in order to show that immense energy and CO₂ savings are possible in non-residential buildings, especially in the building stock, compared to the state of

the art. A further energetic goal was to generate more renewable energy (sun, wind, geothermal energy) in the building as the building technologies consume for heating, hot water, cooling, ventilation, pumps, elevator and lighting. Also in the area of building materials, CO₂-reduced concrete, recycled materials, wood/aluminium windows, mineral insulation, clay instead of gypsum and lime were to achieve significant resources and energy savings.

In the conversion of the old water tower (existing building) into a zero-energy high-rise, this was achieved in particular through the use of passive house technology, the consistent integration of renewable energies into the building envelope and the highly efficient optimisation of heating, cooling and electricity consumption. As a result, considerable savings (approx. 80 %) in energy consumption, costs and CO₂ emissions can be achieved in a hotel operation.

- Project results

In all 3 years of operation (01.01.17- 31.12.19) for the scientific and metrological monitoring and evaluation of the aquaTurm hotel the energetically aspired goal of a zero-energy high-rise could be achieved.

The following table shows a summary of the measured data of the last three years, with percentage distribution of the respective consumption or generation share in the specific total value.

Tabelle 15 Summary of final energy consumption and Generation of the aquaTurm hotel over the 3 measurement years

kWh/a	Measuring years					
	2017		2018		2019	
Total heat consumption*	51,433		49,910		49,401	
Electricity consumption zero energy balance*	19,762		21,639		19,349	
Electricity consumption total energy balance	40,761		41,300		44,446	
Total heat generation	54,740		54,220		54,695	
Total electricity generation	29,230		33,850		32,855	
Surplus zero energy balance* (surplus)	+ 9,468	+ 48 %	+ 12,211	+ 56,5 %	+ 13,506	+70 %
Total energy balance (shortage)	- 11,531	-28 %	-7,450	-18 %	-11,591	-26 %

By converting the old water tower into a zero-energy high-rise and using passive house technology as well as the consistent integration of renewable energies into the building shell and the highly efficient optimisation of heating, cooling and electricity consumption in the hotel operation, energy consumption was reduced by approx. 80 % compared to a standard hotel in accordance with EnEV. Especially the realized measurement concept was decisive for the evaluation and optimization of the energy consumption.

The zero energy balance of the aquaTurm, in combination with its large share of renewable energy production, achieves a CO₂ saving in building operation of 59.3 tons of CO₂ (-80.5%) per year compared to the EnEV standard. Compared to an existing hotel, it even achieves a saving of 61 tons of CO₂ (-83.1 %) per year.

Tabelle 16 CO₂ savings aquaTurm vs. other energy standards

kg CO ₂ / kWh*	Passivhouse- standard + PV/ HP	aquaTurm result + PV/ HP	EnEV 2013 Natural gas	Existing Hotels Heating oil
Heat consumption	8,725.8	5,939.3	22,315.3	36,210.1
Cooling energy	62.3	757.2	15,356.1	unknown
Total electricity consumption	20,076.3	22,178.1	34,024.0	37,311.8
Power generation	-22,194.1	-16,485.0	+/- 0	+/- 0
kg CO ₂ /y total emissions	6,670.3 9.1 %	12,389.6 16.9 %	71,695.4 97.5 %	73,521.9 100 %
kg CO ₂ /y saving to existing hotels	-66,851.6 -90.9 %	-61,132.3 -83.1 %	-1,826.5 -2.5 %	0 0 %

Further CO₂ savings could be achieved by using low-CO₂-emission building products, which can achieve significant CO₂ savings when used in the construction and renovation of buildings. The low energy costs resulting from the energy and CO₂ savings are shown in the enclosed tables 10 and 11.

Tabelle 17 Annual energy cost savings of the aquaTurm hotel compared to sample hotels I+II

UNIV. WUPPERTAL*	16.796,97€
F&P CONSULT**	28.901,02€
AVERAGED	22.849,00€
AFTER 25 YEARS WITH 3% ANNUAL INCREASE	858.049,31€
Sources:	
* Univ. Wuppertal, energy consumption in the hotel industry, Anlage [3]	
** F&P Consult, hotel energy consumption, Anlage [3]	

Tabelle 18 Representation of additional costs

Construction costs zero energy tower, cost calculation 07.13 *, Annex [8]	2.927 T€
Construction costs low energy tower, cost calculation 07.13**, Annex [9]	2.192 T€
Additional costs to be amortized without interest and grants	735 T€

The calculated additional investment costs of 735,000 € will be amortized purely through the energy cost savings after approx. 22 years. For this highly complex conversion and the difficult economic starting position with a very low ratio of usable floor space to development area, as in the case of the aquaTurm, this represents a satisfactory capitalised return period for the additional investments.

The conversion of the aquaTurm thus represents a successful energetic refurbishment, which for existing buildings, especially those with energy- and emission-intensive use, represents a desirable example of how climate protection, energy and resource conservation can be economically implemented even in complex projects.

- Prospects

Almost all energy-efficient construction technologies, products and planning standards used in the aquaTurm have been successfully implemented in practice and have been and are being implemented in 6 further PlusEnergy projects. The architecture and engineering office responsible for the aquaTurm has committed itself with conviction to the resource-efficient planning and production of innovative PlusEnergy buildings and sustainable energy concepts and will continue to implement these consistently in future projects. In addition, the knowledge and experience gained in this area is passed on in many ways through energetic house tours in the aquaTurm, specialist lectures and scientific connections to universities.

A major construction project with a considerably more advanced degree of innovation is being developed in direct connection with the aquaTower.

Thus, the aquaTurm funding project is directly transferable to the energy, construction and housing industries on several levels, which on the one hand has been transferred to the market and on the other hand has initiated new innovative developments.

Anhang

Abkürzungen

- Anlage [1] Energieverbrauch Commerzbank-Hochhaus, Stadt Frankfurt
- Anlage [2] Zusammenfassung Passivhausberechnung für aquaTurm 07.2013
- Anlage [3] Energieverbrauch in der Hotellerie
- Anlage [4] CO₂-Emissionen von Energieträgern
- Anlage [5] CO₂-Emissionen der Zementindustrie in Deutschland
- Anlage [6] PV- Einspeisung aquaTurm 2018
- Anlage [7] Preise für Fernwärme in Deutschland
- Anlage [8] Kostenberechnung Nullenergiehochhaus Zusammenfassung
- Anlage [9] Kostenberechnung Niedrigenergiehochhaus Zusammenfassung
- Anlage [10] Energiebilanzen
- Anlage [11] Nachweis analoge Zählerstände 2019
- Anlage [12] Nachweis analoge Zählerstände 2018
- Anlage [13] Nachweis analoge Zählerstände 2017

Abkürzungen

CEM IIIa/IIIb	Hochofenzement
CIS	Kupfer-Indium-Diselenid Module
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance, Leistungszahl
DVGW	Deutscher Verein des Gas- u. Wasserfaches
EC	Elektronisch kommutierter Motor
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ESG	Einfach- Sicherheits- Glas
EnEV	Energieeinsparverordnung
€	Euro
g	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
LED	light emitting diode, Leuchtdiode
l/min	Liter pro Minute
JAZ	Jahresarbeitszahl
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
kWh/a	Kilowattstunden pro Jahr
Modbus	Kommunikationsprotokoll mit Master/ Slave
Univ.	Universität
PHPP	Passivhaus Projektierungspacket
PU	Polyurethan
PV	Photovoltaik
Stk.	Stück
TrinkwV	Trinkwasser Verordnung
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
U _w	Wärmedurchgangskoeffizient Fenster
U _{wb}	Wärmedurchgangskoeffizient für Wärmebrücken
Vs.	Versus
Vol.	Volumen
W/m ² K	Watt pro Quadratmeter und Grad
WP	Wärmepumpe

Anlage [1] Quelle: Erhebung des Energiereferats der Stadt Frankfurt a. Main 2007, Energieverbrauch Commerzbank Hochhaus, Stadt Frankfurt

Planwerte Commerzbank Hochhaus Frankfurt

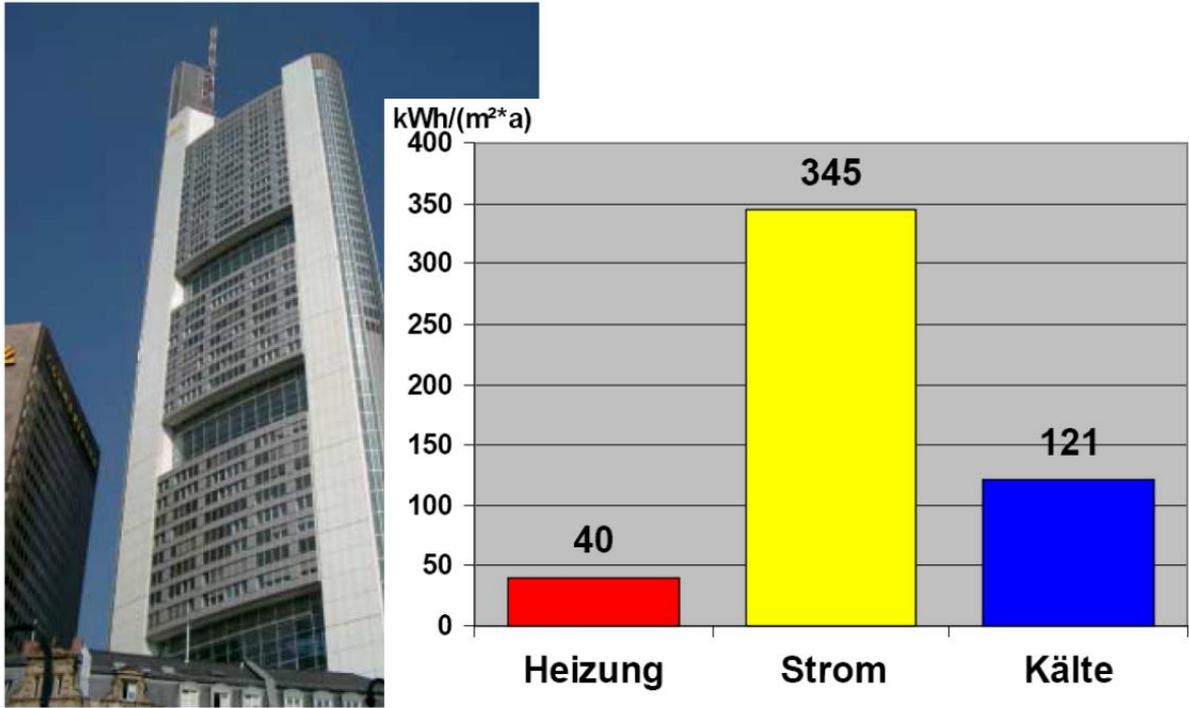


Foto: Eicke-Hennig ; Kälte aus Fernwärme (Abwärmen)

Passivhaus Nachweis

Objekt:	aquaTurm "Nullenergiehochhaus" (Gebäudetechnik)		
Standort und Klima:	Radolfzell-SchiesserAreal	Konstanz	
Straße:	Güttingerstraße 11		
PLZ/Ort:	D-78315 Radolfzell		
Land:	Deutschland		
Objekt-Typ:	Nullenergiehochhaus mit Hotelzimmer, Cafe` u. Eventraum		
Bauherr(en):	Jürgen Räßfle		
Straße:	Brünneleweg 5		
PLZ/Ort:	78315 Radolfzell		
Architekt:	Norman Räßfle		
Straße:	Kabisländer 9		
PLZ/Ort:	78315 Radolfzell		
Haustechnik:	Ingenieurbüro Jauch		
Straße:	Eisenbahnstrasse 3		
PLZ/Ort:	78315 Radolfzell		
Baujahr:	1956		
Zahl WE:	1	Innentemperatur:	20,0 °C
Umbautes Volumen V _u :	3105,6 m ³	Interne Wärmequellen:	5,0 W/m ²
Personenzahl:	36,0		

Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche				
Energiebezugsfläche:	693,6 m ²			
Verwendet:	Monatsverfahren	PH-Zertifikat:	Erfüllt?	
Energiekennwert Heizwärme:	18 kWh/(m²a)	15 kWh/(m ² a)	nein	
Drucktest-Ergebnis:	0,6 h⁻¹	0,6 h ⁻¹	ja	
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung, Kühlung, Hilfs- u. Haushalts-Strom):	111 kWh/(m²a)	120 kWh/(m ² a)	ja	
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Hilfsstrom):	57 kWh/(m ² a)			
Primärenergie-Kennwert Einsparung durch solar erzeugten Strom:	129 kWh/(m ² a)			
Heizlast:	18 W/m ²			
Übertemperaturhäufigkeit:	%	über 25 °C		
Energiekennwert Nutzkälte:	2 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	ja	
Kühllast:	13 W/m ²			

Kennwert mit Bezug auf Nutzfläche nach EnEV				
Nutzfläche nach EnEV:	993,8 m ²			
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Hilfsstrom):	40 kWh/(m²a)	Anforderung:	40 kWh/(m ² a)	ja

<p><i>Wir versichern, dass die hier angegebenen Werte nach dem Verfahren PHPP auf Basis der Kennwerte des Gebäudes ermittelt wurden. Die Berechnungen mit PHPP liegen diesem Antrag bei.</i></p>	<p>Ausgestellt am:</p> <p>10.06.2013</p>
	<p>gezeichnet:</p>
	<p>Norman Räßfle</p>

Hotel Spezial | Energieverbrauch in der Hotellerie



Abbildung 1: Endenergieverbrauchskennwerte von Hotels, aufgeteilt in die Anwendungsbereiche Wärme und Strom. Die Betrachtung des Energieverbrauchs pro m², pro Zimmer (Zi) oder pro Übernachtung (ÜN) liefert ein jeweils unterschiedliches Bild. Unten dargestellt sind die Ergebnisse pro m² so wie es heute bei Energiepässen für Gebäude üblich ist. Die untersuchten Hotels wurden nach Verbräuchen sortiert aufgetragen. Hinzu kommen die Vergleichswerte aus Publikationen. Darüber folgen Darstellungen pro Zimmer bzw. pro Übernachtung. Deutlich ersichtlich wird, dass sich das Bild verändert und z.B. das Hotel mit dem höchsten Verbrauch pro m² nicht unbedingt den höchsten Verbrauch pro Zimmer oder Übernachtung aufweisen muss. Nicht für alle Hotels stehen die Übernachtungszahlen zur Verfügung.

enz gesetzt, aber so zahlreich wie die verfügbaren Zertifizierungen sind, so unterschiedlich sind auch deren Aussagen. Einheitliche Kennwerte sind nur teilweise verfügbar und für wissenschaftliche Zwecke nur vereinzelt verwendbar. Die Frage, ab wann ein Hotel tatsächlich als energieeffizient,

nachhaltig oder klimafreundlich bezeichnet werden kann, ist nach unserer eingehenden Recherche noch nicht beantwortet.

Eine erste Querschnittsauswertung

Zur Beschreibung der Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes werden Verbräuche als

Kennwerte (Benchmarks) herangezogen. Diese Kennwerte sind für die Nutzungsart „Hotel“ nur sehr eingeschränkt verfügbar. In der Richtlinie VDI 3807 werden für Hotels nur Wasserverbrauchsdaten, jedoch keine Querschnittsdaten über den Energiebezug dargestellt [9]. Neue Ausgaben der Richtlinie adressieren Teilenergiekennwerte für Hotelzimmer, aber keine ganzen Gebäude. Das Bundesbauministerium veröffentlichte 2009 Vergleichswerte für den Endenergiebezug für Wärme und Strom zur Erstellung von Energiepässen [1]. Diese basieren auf empirisch ermittelten Verbrauchsdaten einiger weniger Hotels und beanspruchen keine Vollständigkeit.

Vor diesem Hintergrund wurde an der Universität Wuppertal eine eigene Erhebung des Energieverbrauchs in Hotelbetrieben gestartet. Von möglichst vielen Hotels werden Angaben zu Strom-, Wärme- und Wasserverbrauch sowie Informationen zum Gebäude zusammengetragen. Bisher stehen Angaben von 26 Hotels zur Verfügung. Der Fokus liegt auf Stadthotels. Als Vergleichswerte sind die Daten der DEHOGA Energiekampagne sowie einer Studie zum Energieverbrauch der Kettenhotels Hilton International und Scandic mit Standort in Europa berücksichtigt [2].

Verbrauch von Wärme und Strom

Die Auswertung basiert zunächst auf Endenergie – also eingekaufte Mengen an Strom, Gas, Fernwärme, etc. – da diese messtechnisch erfasst und kostenwirksam ist. Eine Auswertung des Primärenergieverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen wird im Anschluss auf Grundlage der zur Versorgung genutzten Energieträger erstellt.

Der dominante Anteil der im Hotel verbrauchten Endenergie fällt beim Wärmeverbrauch an. Beim Großteil der Hotels ist die Energie zur Warmwasserbereitung in den Angaben zum Wärmesektor enthalten. Nur in Einzelfällen erfolgt eine elektrische Warmwasserbereitung. Das arithmetische Mittel des flächenbezogenen Endenergieverbrauchs für Wärme beträgt 144 kWh/m²a, für Strom 76 kWh/m²a. Dies entspricht den von DEHOGA ermittelten Werten eines 4-Sterne-Hotels für Heizung und Warmwasser. Für den Stromverbrauch liegen dort keine Vergleichswerte vor. Die Hotels von Scandic und Hilton liegen im Wärmeverbrauch leicht über der Querschnittsauswertung, im Stromverbrauch deutlich darüber. Die Unterschiede können teils auf andere klimatische Standorte wie auch auf Unterschiedlichkeit in Ausstattung und Nutzung zurück geführt werden. Die Auswertung der Ketten erfasst von Ferienhotels in Südeuropa mit energieintensiver Klimatisierung und großen Schwimmanlagen bis

DEHOGA Umweltcheck
 Der DEHOGA Umweltcheck wurde in Ergänzung zur Viabono-Zertifizierung für die spezifischen Anforderungen des Gastgewerbes konzipiert. Er ist ein Instrument, das insbesondere für Einsteiger attraktiv ist und die Lücke zur anspruchsvolleren und umfassenden Zertifizierung Viabono schließen soll. Der DEHOGA Umweltcheck basiert auf dem ergebnisorientierten Viabono-Erhebungsbogen mit ausgewählten sowie belastbaren Umweltkriterien und teilt die erfolgreichen Teilnehmer in Bronze-, Silber- und Gold-Betriebe ein. Alle Teilnehmer erhalten bei Bedarf Handlungsempfehlungen, Informationsmaterial und Tipps für mehr Ressourceneffizienz.
www.dehoga.de

DGNB Zertifikat
 Mit einem neuen Nutzungsprofil des DGNB Zertifizierungssystems lässt sich die Qualität von Hotelimmobilien messbar bewerten. Es berücksichtigt die speziellen Anforderungen der Branche. Neben Ökologie und Ökonomie misst das Nutzungsprofil Komfort-Aspekten hohe Bedeutung zu. Darüber hinaus schenkt es der Sterne-Kategorie des Objekts Beachtung und bewertet die Standortqualität entsprechend der Nutzung. Einen wichtigen Aspekt stellen auch Betriebs- und Unterhaltskosten dar, die vor allem in der Vor- und Entwurfsplanung eines Objekts festgelegt werden. Die ersten Auszeichnungen für Hotels wurden im Januar 2011 verliehen.
www.dgnb.de

Kennzahlen – Energiekosten Hotel

- Der Anteil der Kosten für Energie und Wasser liegt bei Hotels der 4-Sterne-Kategorie bei über 5% des Umsatzes.
 - In Hotels wird durchschnittlich ca. 30% des gesamten Energiebedarfs in den Gästezimmern verbraucht.
 - Minibars verursachen im Durchschnitt ca. 10% des gesamten Stromverbrauchs eines Hotels.
 - Stromverbrauch in 4-Sterne-Hotels: ca. 120 kWh/m²a (Durchschnittswerte über mehrere Hotels)
 - Wärmeverbrauch in 4-Sterne-Hotels: ca. 240 kWh/m²a (Durchschnittswerte über mehrere Hotels)
- ⇒ Kosten für Strom/Wärme: ca. 1.000.000,- €/Jahr für ein Hotel mit ca. 25.000 m² Nutzfläche

Anlage [4] CO₂-Emissionen von Energieträgern

Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Merkblatt zu den CO₂-Faktoren, Eschborn 2019,

https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_merkblatt_co2.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Spezifische CO₂-Emissionsfaktoren

Für die Berechnung von CO₂-Emissionen je nach Energieträger sind die in unten stehender Tabelle abgebildeten Faktoren bindend. Die Faktoren sind im Einsparkonzept für alle Energieträger hinterlegt, es erfolgt eine automatische Berechnung der CO₂-Emissionen.

Energieträger	Einheit	CO ₂ -Faktor
Strom Inland	t CO ₂ /MWh	0,537
Nah-/Fernwärme	t CO ₂ /MWh	0,280*
Heizöl leicht	t CO ₂ /MWh	0,266
Heizöl schwer	t CO ₂ /MWh	0,294
Flüssiggas	t CO ₂ /MWh	0,239
Erdgas	t CO ₂ /MWh	0,202
Steinkohle	t CO ₂ /MWh	0,337
Braunkohle	t CO ₂ /MWh	0,381
Rohbenzin	t CO ₂ /MWh	0,264
Diesel	t CO ₂ /MWh	0,266
Biomasse Holz	t CO ₂ /MWh	0,029
Pellets	t CO ₂ /MWh	0,023
Biodiesel	t CO ₂ /MWh	0,096
Biogas	t CO ₂ /MWh	0,148

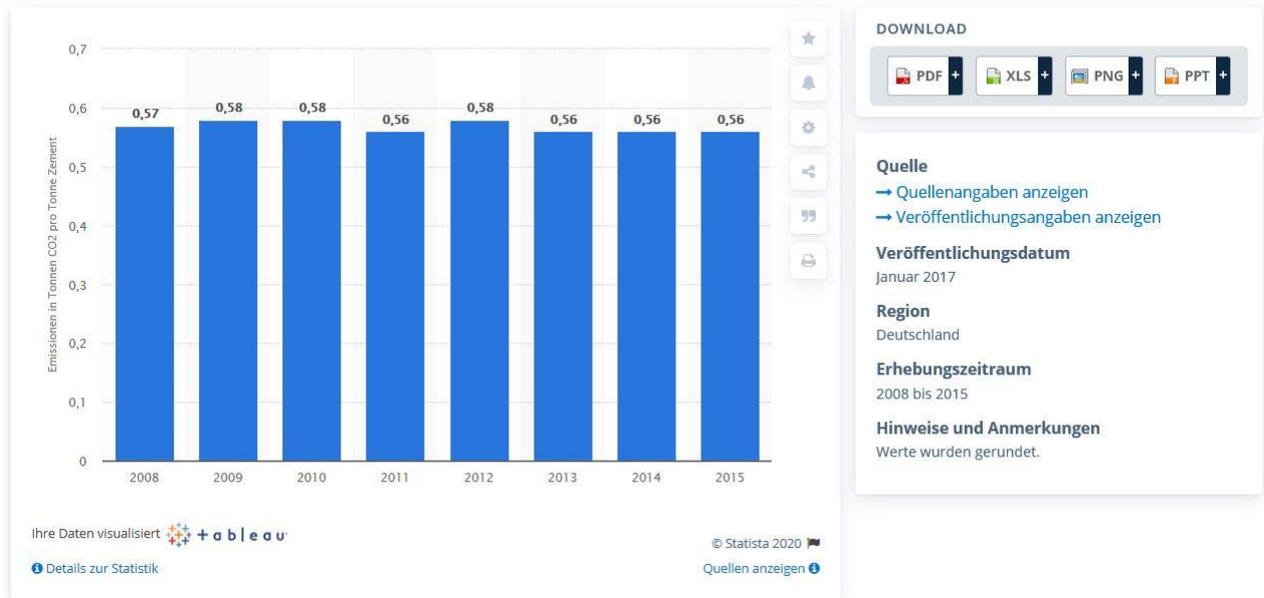
Anlage [5] CO₂-Emissionen der Zementindustrie in Deutschland

Quelle: Statista GmbH, Hamburg 2019,

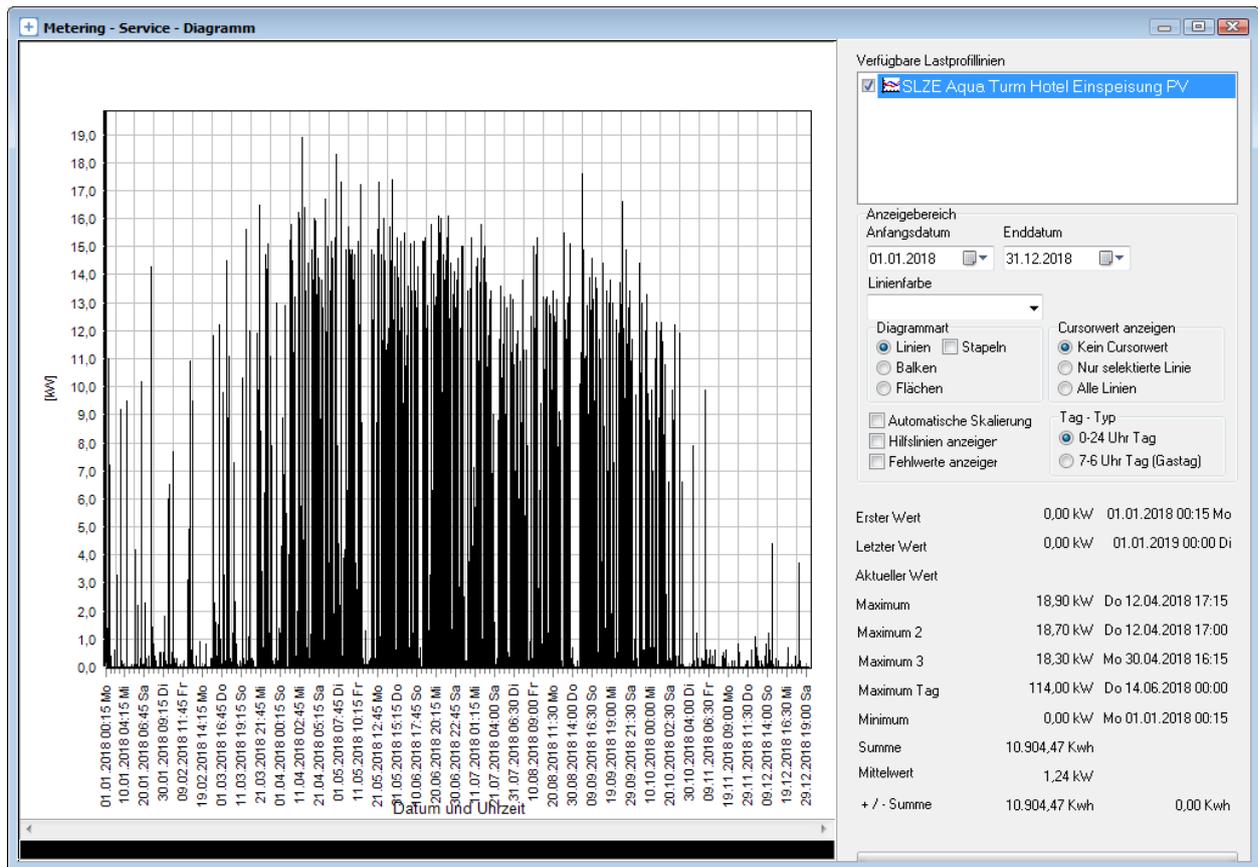
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/217222/umfrage/co2-emissionen-der-zementindustrie-in-deutschland/>

Spezifische CO₂-Emissionen der Zementindustrie in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2015

(in Tonnen CO₂ pro Tonne Zement)



Anlage [6] PV- Einspeisung aquaTurm 2018



Anlage [7] Preise für Fernwärme in Deutschland

Quelle: Statista GmbH, Hamburg 2019,

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250114/umfrage/preis-fuer-fernwaerme-nach-anschlusswert-in-deutschland/>

Preis* für Fernwärme nach Anschlusswert in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2018

(in Euro pro Megawattstunde)

Suche:	15 Kilowatt	160 Kilowatt	600 Kilowatt
2018	76,72	73,95	68,92
2017	73,44	72,08	68,92
2016	70,92	68,68	66,16
2015	76,25	73,97	71,97
2014	77,99	75,54	73,66
2013	78,39	76,46	75,06
2012	78,47	76,48	75,2
2011	74,61	72,99	71,35
2010	67,98	65,85	64,36
2009	67,58	65,46	63,76
2008	71,77	69,39	67,95
2007	61,4	59,5	60,95
2006	60	59,74	59,38

Es werden die Daten 1 bis 13 angezeigt von insgesamt 28 [Vorherige](#) [Nächste](#)

DOWNLOAD

[PDF](#) [XLS](#) [PNG](#) [PPT](#)

Quelle
[→ Quellenangaben anzeigen](#)
[→ Veröffentlichungsangaben anzeigen](#)

Veröffentlichungsdatum
2019

Region
Deutschland

Erhebungszeitraum
1991 bis 2018

Hinweise und Anmerkungen
* Gewichteter Mischpreis. Bestehend aus: Wärmeverbrauch, Wärmebedarf, Messpreis sowie Abrechnungspreis und andere Dienstleistungen. Die Summe ergibt die Jahreskosten der Fernwärme. Geteilt durch die verbrauchte

Anlage [8] Kostenberechnung Nullenergiehochhaus Zusammenfassung

Zusammenfassung Kosten nach DIN 276				Seite: 1	
Kostengruppe	Menge	Einheit	KKW in EURO	Kosten in EURO	Summe in EURO
100 Grundstück	563,000	FBG			
200 Herrichten und Erschließen	563,000	FBG	104,63	58.906,00	
300 Bauwerk - Baukonstruktionen	1.402,000	BGF	1.413,20	1.981.308,00	
400 Bauwerk - Technische Anlagen	1.402,000	BGF	441,73	619.305,00	
500 Außenanlagen	147,000	AUF	40,01	5.882,00	
600 Ausstattung und Kunstwerke	1.402,000	BGF			
700 Baunebenkosten	1.402,000	BGF	106,85	149.800,00	
Gesamtkosten	1.402,000	BGF	2.007,99		2.815.201,00
Zusammenstellung	Kosten	Zuschlag	Aufrundung	Summe	
100 Grundstück					
200 Herrichten und Erschließen	58.906,00			58.906,00	
300 Bauwerk - Baukonstruktionen	1.981.308,00			1.981.308,00	
400 Bauwerk - Technische Anlagen	619.305,00			619.305,00	
500 Außenanlagen	5.882,00			5.882,00	
600 Ausstattung und Kunstwerke					
700 Baunebenkosten	149.800,00			149.800,00	
Gesamtkosten					2.815.201,00
Alle Kosten incl. 19,0 % Mehrwertsteuer					
Zusammenstellung Mehrwertsteuer	Netto	MwSt. Satz	MwSt.	Brutto	
100 Grundstück		19,00			
200 Herrichten und Erschließen	49.500,84	19,00	9.405,16	58.906,00	
300 Bauwerk - Baukonstruktionen	1.664.964,71	19,00	316.343,29	1.981.308,00	
400 Bauwerk - Technische Anlagen	520.424,37	19,00	98.880,63	619.305,00	
500 Außenanlagen	4.942,86	19,00	939,14	5.882,00	
600 Ausstattung und Kunstwerke		19,00			
700 Baunebenkosten	125.882,35	19,00	23.917,65	149.800,00	
Summe	2.365.715,13		449.485,87	2.815.201,00	

Anlage [9] Kostenberechnung Niedrigenergiehochhaus Zusammenfassung

Wasserturm Kostenanschlag

Umbau des Wasserturms zu einer Erlebnisgastronomie mit Büros und Wohnungen. - Stand: 29.06.2007

Zusammenfassung Kosten nach DIN 276				Seite: 1
Kostengruppe	Menge Einheit	KKW in EURO	Kosten in EURO	Summe in EURO
100 Grundstück	563,000 FBG			
200 Herrichten und Erschließen	563,000 FBG	104,63	58.906,00	
300 Bauwerk - Baukonstruktionen	1.402,000 BGF	1.108,30	1.553.835,00	
400 Bauwerk - Technische Anlagen	1.402,000 BGF	308,73	432.840,00	
500 Außenanlagen	147,000 AUF	40,01	5.882,00	
600 Ausstattung und Kunstwerke	1.402,000 BGF			
700 Baunebenkosten	1.402,000 BGF	100,43	140.800,00	
Gesamtkosten	1.402,000 BGF	1.563,67		2.192.263,00

Zusammenstellung	Kosten	Zuschlag	Aufrundung	Summe
100 Grundstück				
200 Herrichten und Erschließen	58.906,00			58.906,00
300 Bauwerk - Baukonstruktionen	1.553.835,00			1.553.835,00
400 Bauwerk - Technische Anlagen	432.840,00			432.840,00
500 Außenanlagen	5.882,00			5.882,00
600 Ausstattung und Kunstwerke				
700 Baunebenkosten	140.800,00			140.800,00
Gesamtkosten				2.192.263,00
Alle Kosten incl. 19,0 % Mehrwertsteuer				

Zusammenstellung Mehrwertsteuer	Netto	MwSt. Satz	MwSt.	Brutto
100 Grundstück		19,00		
200 Herrichten und Erschließen	49.500,84	19,00	9.405,16	58.906,00
300 Bauwerk - Baukonstruktionen	1.305.743,70	19,00	248.091,30	1.553.835,00
400 Bauwerk - Technische Anlagen	363.731,09	19,00	69.108,91	432.840,00
500 Außenanlagen	4.942,86	19,00	939,14	5.882,00
600 Ausstattung und Kunstwerke		19,00		
700 Baunebenkosten	118.319,33	19,00	22.480,67	140.800,00
Summe	1.842.237,82		350.025,18	2.192.263,00

Bauherr Architekt

Ort, Datum, Unterschrift

Ort, Datum, Unterschrift

gedruckt am: 18.02.2008

Alle Kosten incl. 19% Mehrwertsteuer

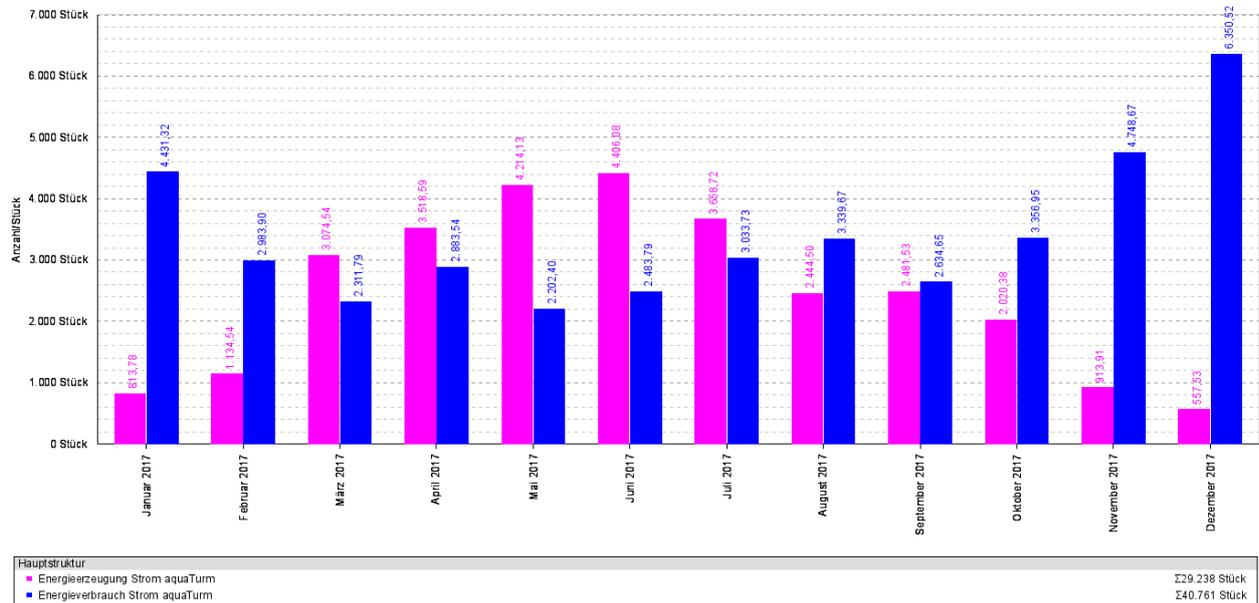
Projekt: Wasserturm Radolfzell | Kostenanschlag: 29.06.07 | Ersteller: Norman Räßle

Anlage [10] Energiebilanzen

Gesamtenergiebilanz 2017

e CON Monatsverbrauchsbericht / Kennzahlen/virtuelle Messstellen

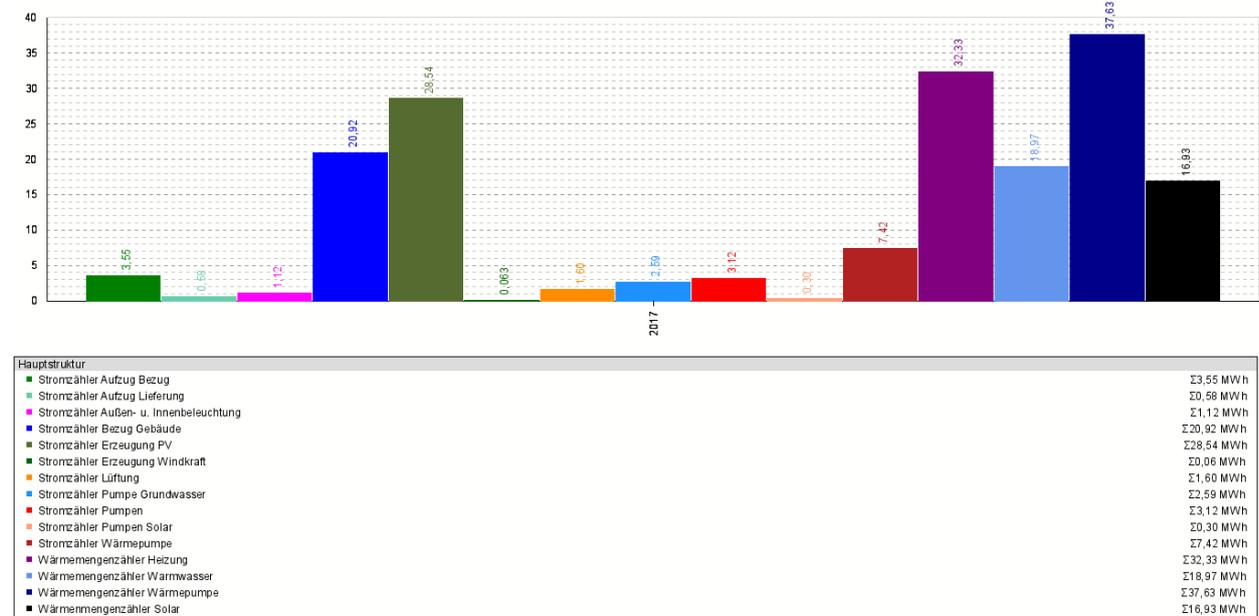
Filter: So 01.01.2017 - So 31.12.2017 [Zeitzone Berlin]



Gesamtenergiebilanz mit Einzelpositions- Messstellen 2017

e CON Jahresverbrauchsbericht / Units

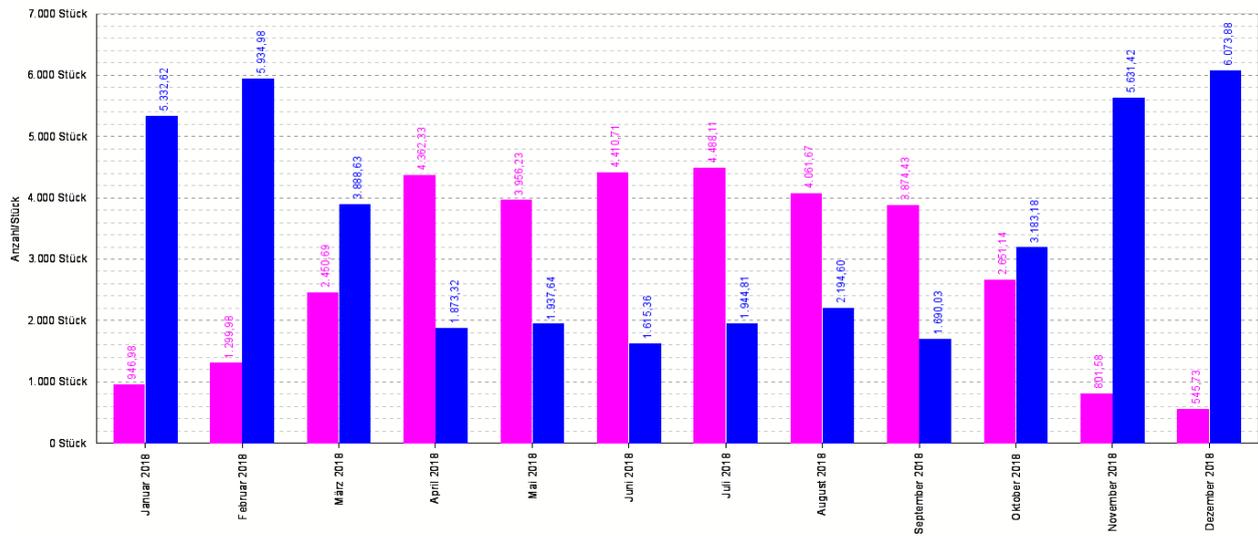
Filter: So 01.01.2017 00:00 - So 31.12.2017 00:00 [Zeitzone Berlin]



Gesamtenergiebilanz 2018

CON Monatsverbrauchsbericht / Kennzahlen/Virtuelle Messstellen

Filter: Mo 01.01.2018 - Mo 31.12.2018 [Zeitzone Berlin]



Hauptstruktur

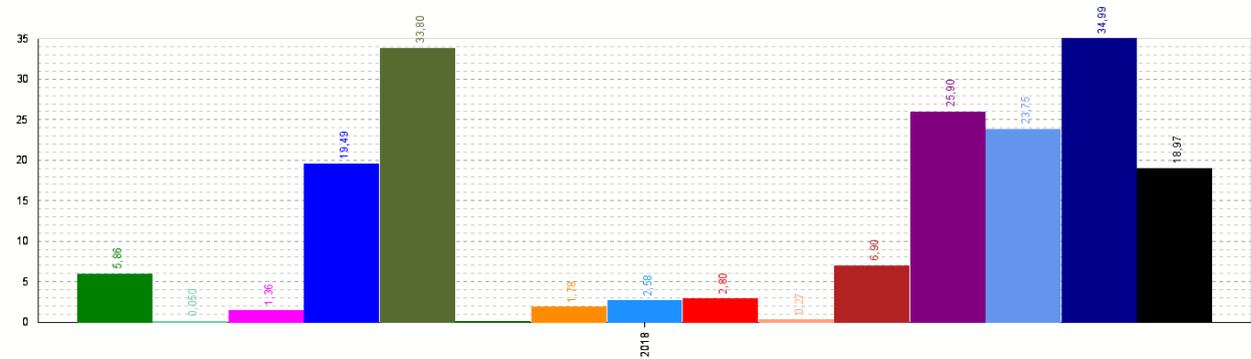
- Energieerzeugung Strom aquaTurm
- Energieverbrauch Strom aquaTurm

Σ33.850 Stück
Σ41.300 Stück

Gesamtenergiebilanz mit Einzelpositions- Messstellen 2018

CON Jahresverbrauchsbericht / Units

Filter: Mo 01.01.2018 00:00 - Mo 31.12.2018 00:00 [Zeitzone Berlin]



Hauptstruktur

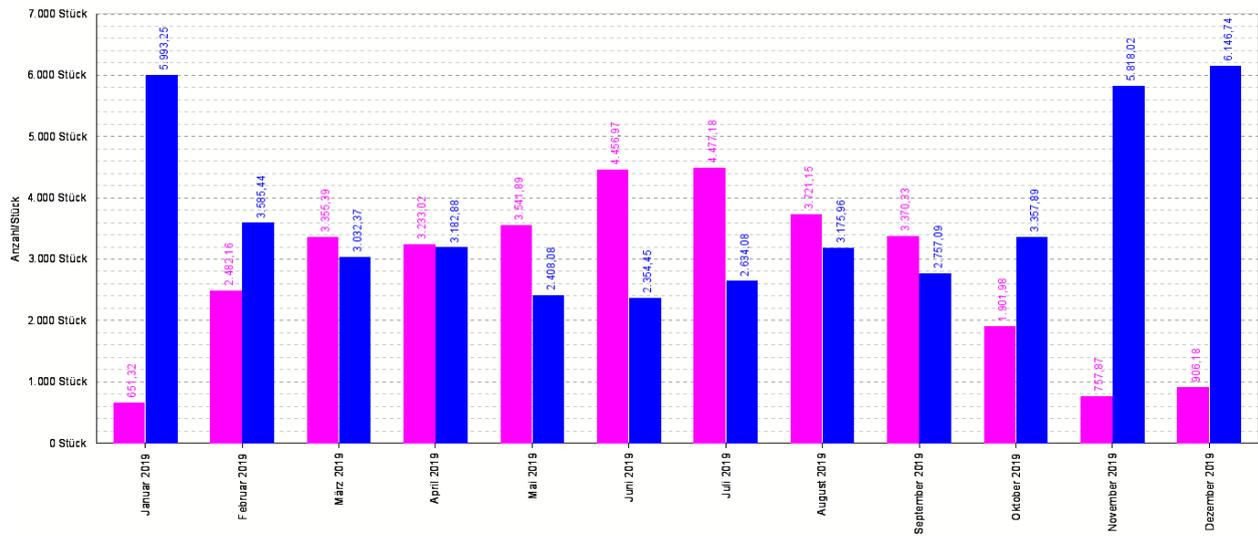
- Stromzähler Aufzug Bezug
- Stromzähler Aufzug Lieferung
- Stromzähler Außen- u. Innenbeleuchtung
- Stromzähler Bezug Gebäude
- Stromzähler Erzeugung PV
- Stromzähler Erzeugung Windkraft
- Stromzähler Lüftung
- Stromzähler Pumpe Grundwasser
- Stromzähler Pumpen
- Stromzähler Pumpen Solar
- Stromzähler Wärmepumpe
- Wärmemengenzähler Heizung
- Wärmemengenzähler Warmwasser
- Wärmemengenzähler Wärmepumpe
- Wärmemengenzähler Solar

Σ5,86 MWh
Σ0,05 MWh
Σ1,36 MWh
Σ19,49 MWh
Σ33,80 MWh
Σ0,00 MWh
Σ1,78 MWh
Σ2,58 MWh
Σ2,80 MWh
Σ0,27 MWh
Σ6,90 MWh
Σ25,90 MWh
Σ23,75 MWh
Σ34,99 MWh
Σ18,97 MWh

Gesamtenergiebilanz 2019

e CON Monatsverbrauchsbericht / Kennzahlen/virtuelle Messstellen

Filter: Di 01.01.2019 - Di 31.12.2019 (Zeitzone Berlin)

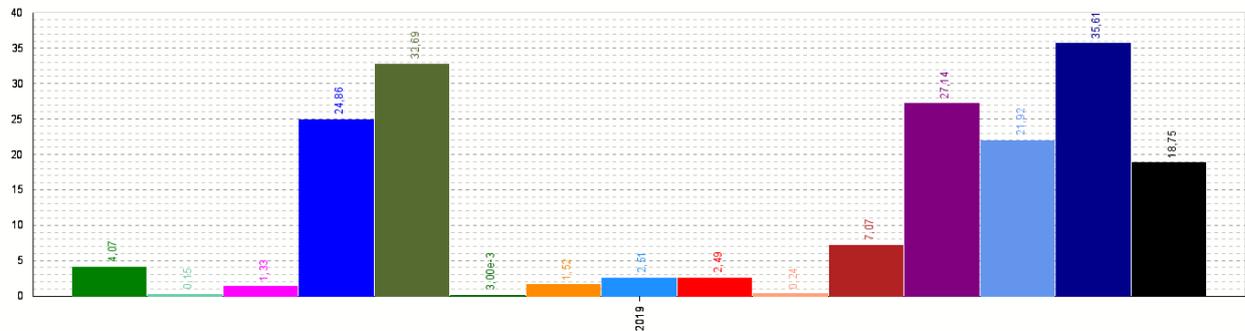


Hauptstruktur	
Energieerzeugung Strom aquaTurm	£32.855 Stück
Energieverbrauch Strom aquaTurm	£44.446 Stück

Gesamtenergiebilanz mit Einzelpositions- Messstellen 2019

e CON Jahresverbrauchsbericht / Units

Filter: Di 01.01.2019 00:00 - Di 31.12.2019 00:00 (Zeitzone Berlin)



Hauptstruktur	
Stromzähler Aufzug Bezug	£4,07 MWh
Stromzähler Aufzug Lieferung	£0,15 MWh
Stromzähler Außen- u. Innenbeleuchtung	£1,33 MWh
Stromzähler Bezug Gebäude	£24,86 MWh
Stromzähler Erzeugung PV	£32,69 MWh
Stromzähler Erzeugung Windkraft	£0,00 MWh
Stromzähler Lüftung	£1,52 MWh
Stromzähler Pumpe Grundwasser	£2,81 MWh
Stromzähler Pumpen	£2,49 MWh
Stromzähler Pumpen Solar	£0,24 MWh
Stromzähler Wärmepumpe	£7,07 MWh
Wärmemengenzähler Heizung	£27,14 MWh
Wärmemengenzähler Warmwasser	£21,92 MWh
Wärmemengenzähler Wärmepumpe	£35,61 MWh
Wärmemengenzähler Solar	£18,75 MWh