



VertiKKA

Vertikale KlimaKlärAnlage

Endbericht VertiKKA

Teil II: Eingehende Darstellung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033W108A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen / den Autoren

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Niederlassung Leonberg
Distelfeldstraße 15, 71229 -Leonberg
Telefon +49 7152 331109-0, bce-leonberg@bjoernsen.de
September 2022

Tabellarische Übersicht über die Verbundpartner:

Organisation	Ansprechpartner
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (BCE), Projektkoordination	Dr.-Ing. Susanne Veser
IZES gGmbH (IZES)	Mike Speck
ifak - Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak)	Dr. Manfred Schütze
PI Photovoltaik-Institut Berlin AG (PI Berlin)	Stefan Wendlandt
Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR (StEB) / Stadt Köln – Dezernat für Soziales, Integration und Umwelt (SK)	Ingo Schwerdorf Dr. Maria Ceylan
Bauhaus-Universität Weimar (BUW); Bauhaus-Institut für zu- kunftweisende Infrastruktursysteme (b.is); Professur Bauphysik (BP)	Prof. Dr.-Ing. Silvio Beier (b.is) Prof. Dr.-Ing. Conrad Völker (BP)
TU Chemnitz – Fachbereich Sozialwissenschaften (TUC)	Prof. Dr. Jochen Mayerl
Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU); Fakultät Landschaftsarchitektur, Umwelt- und Stadtpla- nung, Studiengang Landschaftsarchitektur, Fachgebiet Objekt- planung	Prof. Dr.-Ing. Nicole Pfoser

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	2
2	Darstellung der Arbeiten im Einzelnen	3
2.1	AP 1: Untersuchungsrahmen, Ist-Analyse, Generierung von Optionen und Bewertungskriterien (BCE unter Beteiligung aller Projektpartner)	3
2.2	AP2: Entwicklung Basiskonzept und Variantenentwicklung (BCE unter Beteiligung aller Partner)	6
2.3	AP 3: Entwicklung und Test eines prototypischen VertiKKA-Moduls	7
2.4	AP 4: Erarbeitung eines Computersimulationsmodells (ifak)	24
2.5	AP 5: Nachhaltigkeitsbewertung (IZES)	32
2.6	AP 6: Kommunales Transformationsmanagement (IZES)	36
2.7	AP 7: Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikationskonzept (StEB und Stadt Köln)	38
2.8	AP 8: Ergebnisanalyse und Umsetzungsplan (IZES)	41
2.9	Q1: Soziologische Aspekte: Akzeptanz, Partizipation und Lebensqualität (TUC)	42
2.10	Sonstige Aktivitäten: Entwicklung des Planungs-Softwaretools „EMKAS“ (BCE)	49
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	52
4	Voraussichtlicher Nutzen im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	52
5	Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	52
6	Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beitrag der VertiKKA zu einer lebenswerten Stadt durch die Synergie der Elemente Photovoltaik, Fassadenbegrünung und Grauwasserreinigung	2
Abbildung 2: Übersicht der Zusammenarbeit (eigene Darstellung).	3
Abbildung 3: Untersuchungsgebiet Köln Ehrenfeld und Referenzviertel Köln Nippes (verändert nach: www.veedelsliebe.de)	4
Abbildung 4: Bewässerungskonzept der VertiKKA (eigene Darstellung BCE).	5
Abbildung 5: Synergieeffekte der VertiKKA-Elemente Photovoltaik, Fassadenbegrünung und Bewässerung (eigene Darstellung BCE)	6
Abbildung 6: Prozess des Groscreenings der VertiKKA-Variante (eigene Darstellung BCE).	7
Abbildung 7: Die drei gebauten Modulvarianten: Links als erste Version mit kombiniertem Reinigungs- und Wurzelsubstrat, Mitte mit geteiltem Reinigungssubstrat und unten liegenden Wurzelraum, rechts mit rückliegendem Reinigungskompartiment und vorne vertikal getrenntem, aber kommunizierendem Wurzel- und Wuchskompartiment (Eigene Darstellung).	8
Abbildung 8: VertiKKA-Module kurz nach der Bepflanzung (ohne Zulauf- und Ablauf-Peripherie). Links jeweils die 40 cm Module und im mittleren und rechten Segment die 80 cm Module (Foto Aicher).	8
Abbildung 9: Vergleich der Begrünung noch in der Winterpause (links) und nach dem Austreiben im Frühjahr (rechts) (Foto links: Nguyen Ah, Foto rechts: Aicher)	10
Abbildung 10: Testfläche an der HfWU Nürtingen-Geislingen Standort LVG Braike. Stand 23.05.2022	11
Abbildung 11: Tagesgang der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ eines bewölkten Tages am 04.05.2022.	12
Abbildung 12: Systemabhängige Pflanzenausfälle Winter 2020/2021	13
Abbildung 13: Systemabhängige Pflanzenausfälle Winter 2021/2022	13
Abbildung 14: Vergleichender Versuchsaufbau für die Betrachtung der Effekte einer Wurzelbegleitheizung und unterschiedlichen Substraten	14
Abbildung 15: Aufbau des PV-Moduls mit ETFE-Folie	16
Abbildung 16: Elektrische Verschaltungskonzepte (PI Berlin).	17
Abbildung 17: Vergleich der elektrischen Verluste (PI Berlin).	17
Abbildung 18: VertiKKA-Module am Versuchscontainer (links) sowie der Messaufbau (rechts)	18
Abbildung 19: Funktionsmuster eines Pflanzen-Klär-Moduls im Labor des ifak.	19
Abbildung 20: Auszug der Sensordaten (Temperatur, Luftfeuchte, Lichtintensität, Bodenfeuchte) im mehrtägigen Dauertest	19
Abbildung 21: Begrüntes ENVI-met-Modell (links) und Vergleich der Oberflächentemperaturen der Außenwand ohne VertiKKA und hinter der VertiKKA (von links nach rechts) am 28.06.2019, 17 Uhr	21
Abbildung 22: Kopplung des Vegetationsmodells in ENVI-met mit dem hygrothermischen Tool Delphin	22
Abbildung 23: Übersicht Sensitivitätsanalyse (links) und vertikale Anwendung des Gründachmodells (dargestellt in pink, rechts)	22

Abbildung 24: Darstellung der VertiKKA (links) sowie theoretische Planung der Befestigung am Gebäude der StEB (Eigene Darstellung BCE)	23
Abbildung 25: VertiKKA-Simulator: Teilmodul zur Wärmebilanzierung des VertiKKA-Fassadenelements	28
Abbildung 26: VertiKKA-Simulator: Teilmodule zur Wärmebilanzierung in VertiKKA-Element, Gebäudefassaden und Gebäudeinnerem. Darstellung der Momentanwerte [kW] im Sankey-Diagramm sowie der summatorischen Jahreswerte [kWh] in den Blöcken „Wärmebedarf“.	29
Abbildung 27: Exemplarische Simulationsergebnisse: Gebäudetemperatur	29
Abbildung 28: Exemplarische Simulationsergebnisse: Zur Erzielung der Gebäudetemperatur benötigte Wärmeenergie	29
Abbildung 29: Teilmodule des VertiKKA-Simulationsmodells des VertiKKA-Simulators (ohne Wärmemodule)	30
Abbildung 30: Gesamtübersicht des VertiKKA-Simulators (einschl. Wärmemodule)	31
Abbildung 31: Exemplarische Ausgabe der Nachhaltigkeitsbewertung (VertiKKA und Gebäude) des VertiKKA-Simulators	32
Abbildung 32: Zusammenfassung der relevanten Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung (IZES).	35
Abbildung 33: Die VertiKKA GmbH als mögliche Organisationsform für das Angebot rund um die VertiKKA	38
Abbildung 34: Screenshots aus dem Erklärfilm VertiKKA (Copyright StEB)	40
Abbildung 35: Subjektiver Erwartungsnutzen und Akzeptanz.	42
Abbildung 36: Gesamterklärungsmodell im Querschnitt für Welle 1 (2020).	43
Abbildung 37: Gesamterklärungsmodell im Querschnitt für Welle 2 (2021).	44
Abbildung 38: Ergebnis der Clusteranalyse aus Welle 1 (2020)	46
Abbildung 39: Erklärungsmodell im Längsschnitt (2020-2021)	47
Abbildung 40: Darstellung des Ablaufprozesses innerhalb der entwickelten EMKAS-Software-Anwendung (eigene Darstellung BCE).	51
Abbildung 41: Auszug aus einem ersten Demo-Projekt anhand des Stadtviertels Köln Ehrenfeld und ausgewählte Maßnahmen (eigene Darstellung BCE).	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse aus der Pflanzenevaluation. Die dargestellten Ergebnisse zeigen die Endevaluation. Wöchentlich aufgenommene Pflanzenvitalität lässt weitere differenziertere Rückschlüsse auf Pflanzaktivitäten während der verschiedenen Phasen zu.	9
Tabelle 2: Vom VertiKKA-Simulator berechneter PV-Ertrag für unterschiedlich ausgerichtete PV-Flächen (% zur Maximalleistung bei optimal ausgerichteter Fläche) für Stuttgart.	26

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Vorhabenbezeichnung: **Vertikale KlimaKlärAnlage** zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Lebensqualität in urbanen Räumen (**VertiKKA**)

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2019 – 31.05.2022

Projektleitung: Dr.-Ing. Susanne Vesper

Berichtszeitraum: 01.04.2019 – 31.05.2022

Berichtsdatum: 22.09.2022

1 Einleitung und Zielsetzung

Verdichtete Städte führen in Kombination mit dem Klimawandel zu vielen Herausforderungen, wie zum Beispiel die Bildung von Hitzeinseln oder die Folgen von Starkregenereignissen. Hierbei steht die Stadtplanung vor dem Problem einer steigenden Verdichtung der urbanen Räume mit immer weniger Platz für Stadtgrün. Das haben bereits Großstädte wie zum Beispiel Köln, Hamburg und München erkannt und entsprechende Strategien und Förderprogramme zur Begrünung und Klimaanpassung erstellt. Selbst wenn die finanziellen Mittel vorhanden sind, fehlt es in Großstädten, dicht bebauten Quartieren und sozial benachteiligten Wohnvierteln oft an Platz für Parks und Grünflächen. Hier können Fassaden- und Dachbegrünungen ihr Potential voll entfalten und auch mit wenig verfügbarer Fläche den Grünanteil erhöhen. Doch die Pflanzen leiden in dicht bebauten Räumen unter Hitze und Wassermangel. Zudem fehlen bisher umfassende Konzepte für eine flächendeckende Umsetzung begrünter Fassaden. VertiKKA setzt hier an: Bei der VertiKKA handelt es sich um ein multifunktionales Fassadenbegrünungsmodul, das die Elemente Fassadenbegrünung, Grauwasserreinigung und Energieerzeugung durch Photovoltaik (PV) kombiniert. Die positiven Effekte liegen in der Kombination der Einzelvorteile von Fassadenbegrünungssystemen (z.B. gesteigerte Kühlungs- und Dämmwirkung, Verbesserung der Luftqualität, Feinstaubbindung, Verbesserung der Lebensqualität) und PV-Modulen, die Strom erzeugen und gleichzeitig die Pflanzen vor Extremwettereinflüssen schützen. Die kombinierte Grauwasserreinigung liefert den Pflanzen Nährstoffe und ein permanentes Wasserdargebot, sodass auf den Einsatz von Trinkwasser zur Bewässerung komplett verzichtet werden kann.

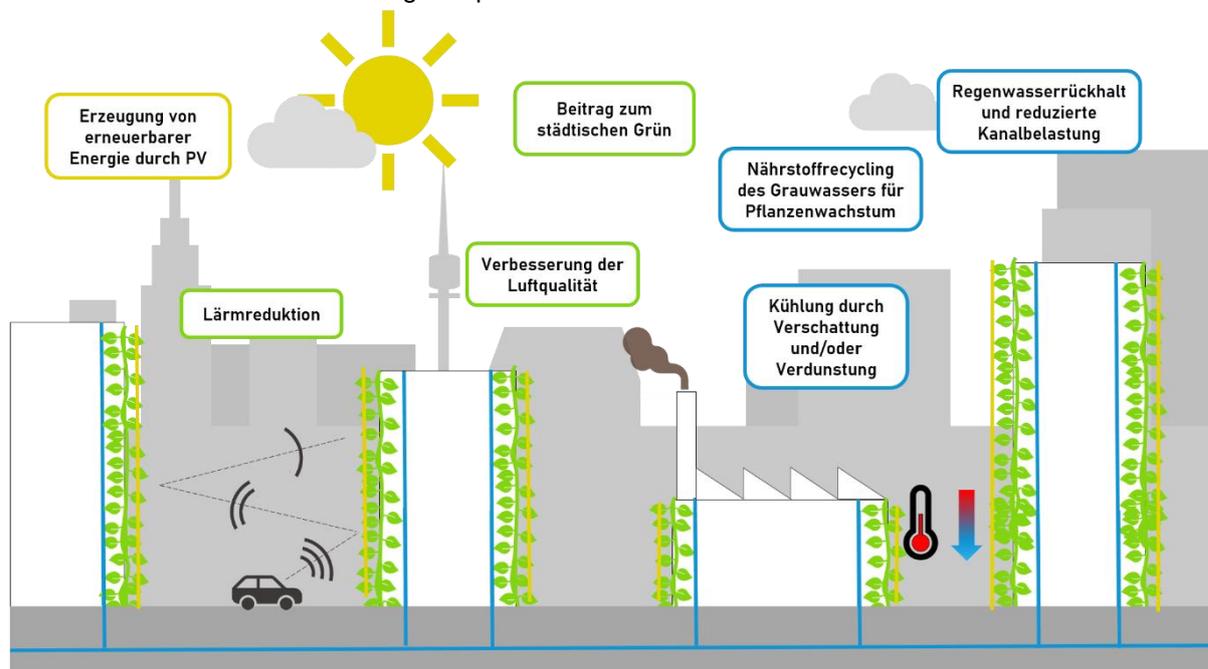


Abbildung 1: Beitrag der VertiKKA zu einer lebenswerten Stadt durch die Synergie der Elemente Photovoltaik, Fassadenbegrünung und Grauwasserreinigung

Das Ziel des Projektes VertiKKA lag in der Entwicklung der VertiKKA und deren prototypischer Umsetzung. Konkret lag der Fokus im Projekt auf der Sicherstellung der Pflanzenvitalität, einer adäquaten Grauwasserreinigung sowie der Optimierung der Synergieeffekte zwischen PV und Pflanzen. Dafür wurden zunächst Varianten entwickelt und sowohl theoretisch als auch in verschiedenen Testmodulen

hinsichtlich der Komponenten PV, Grauwasserreinigungsleistung und Pflanzenvitalität optimiert. Ausgehend davon erfolgte die Auswahl einer Vorzugsvariante und deren Überführung in einen Prototypen. Begleitend fanden Untersuchungen zu der Interaktion von VertiKKA-Modul und Fassade, den Effekten auf die unmittelbare Umgebung und das Quartier und zum Aufbau von VertiKKA an Fassaden statt. Zudem wurde ein Sensorik-Konzept zur Überwachung und Bewertung der Leistung der VertiKKA entwickelt. Neben dieser technikorientierten Forschung umfassten die Aktivitäten die Erhebung und Auswertung der sozialen Akzeptanz der Technik im Untersuchungsgebiet Köln, die Entwicklung eines Stoffstromsimulations- und -visualisierungstools und die Ermittlung der Nachhaltigkeitsleistung. Weitere Aktivitäten widmeten sich dem Genehmigungs- und Transformationsmanagement, der Entwicklung von Betreibermodellen sowie der Öffentlichkeitsarbeit.

2 Darstellung der Arbeiten im Einzelnen

Die Vorgehensweise im Rahmen des Projektes war durch eine enge Zusammenarbeit der Projektpartner gekennzeichnet. Diese ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Darstellung der Arbeiten im Einzelnen erfolgt anhand der einzelnen Arbeitspakete.

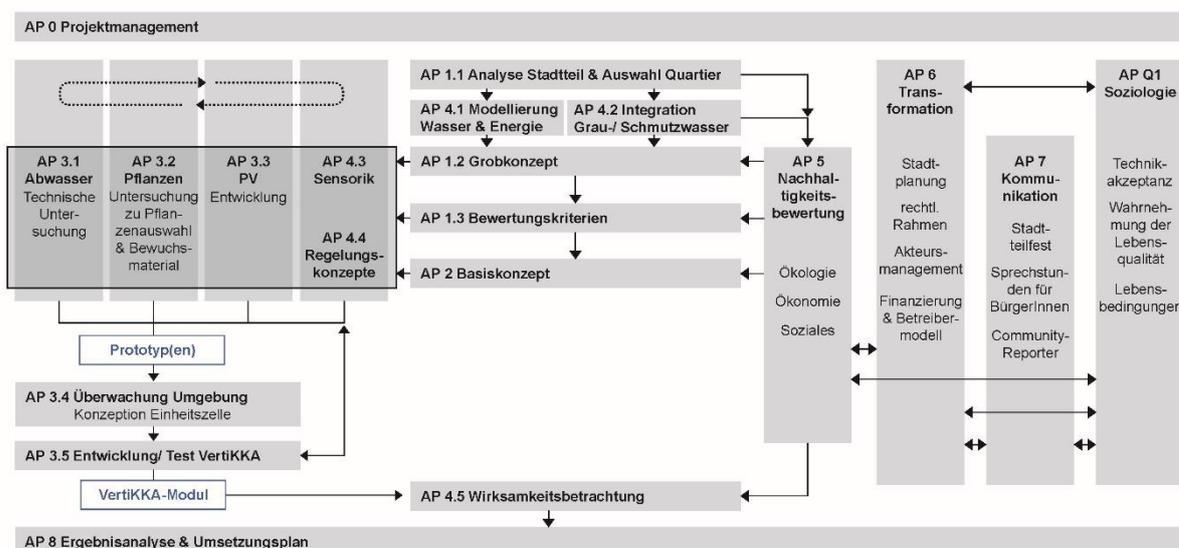


Abbildung 2: Übersicht der Zusammenarbeit (eigene Darstellung).

2.1 AP 1: Untersuchungsrahmen, Ist-Analyse, Generierung von Optionen und Bewertungskriterien (BCE unter Beteiligung aller Projektpartner)

2.1.1 Untersuchungsrahmen und Ist-Analyse

In den ersten Monaten des Projektes erfolgte eine räumliche Konkretisierung des Untersuchungsgebietes. Dafür wurden insgesamt alle 86 Stadtquartiere („Veedel“) untersucht. Nach einer ausführlichen Abwägung von Kriterien wie sozioökonomische und soziopolitische Charakteristika, Migrationsanteil,

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Populationsgröße und Einwohnerdichte sowie klimatischen Faktoren wie Betroffenheit durch Starkregen wurden die Veedel Ehrenfeld als Untersuchungsgebiet und Nippes als Referenzviertel identifiziert.

Kriterien im Einzelnen waren:

- Betroffenheit durch Hitze (hoch): Handlungsbedarf!
- Betroffenheit durch Starkregen (hoch): Handlungsbedarf!
- Grüne Wählerschaft (hoher Anteil) (Grundlage: Europawahl 2019): Einstellung der Bevölkerung hinsichtlich „grüner“ Themen (→ VertiKKA) wird als positiv angenommen
- Liberal eingestellte Bevölkerungsgruppen („Milieus“) (Grundlage: Stadt Köln 2011, Godorfer Hafen)
- Neue liberale Unterschicht (→ Mietwohnung)
- Liberale Mittelschicht (→ Mietwohnung/ Eigentum)
- Liberale Bürgerliche (→ Eigentum)
- Bestehende (kommunale/ zivilgesellschaftliche Initiativen): Beteiligung, Forum, Wahrscheinlichkeit der Umsetzung
- Anteil Migrationshintergrund
- Anteil Bedarfsgemeinschaften mit Kindern an Haushalten mit Kindern
- Anteil Alleinerziehende Hilfsbedürftige an allen Alleinerziehenden
- Arbeitslosenquote
- Durchschnittsalter

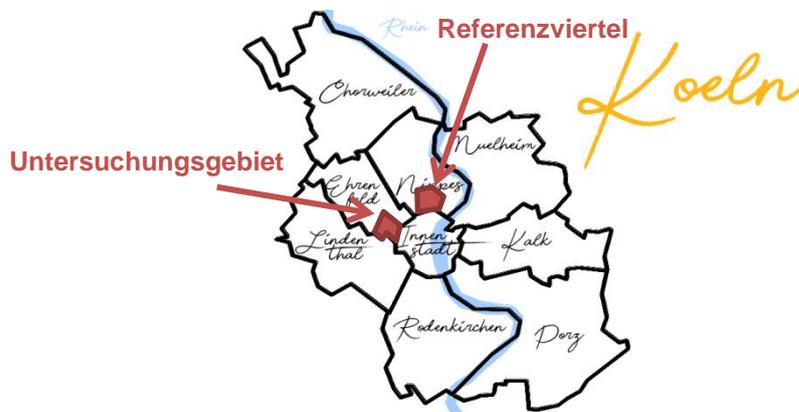


Abbildung 3: Untersuchungsgebiet Köln Ehrenfeld und Referenzviertel Köln Nippes (verändert nach: www.veedelsiebe.de)

2.1.2 Entwicklung eines Grobkonzeptes und Definition geeigneter Bewertungskriterien

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde zunächst der Stand der Technik von verfügbaren Fassadenbegrünungssystemen anhand einer Literaturstudie sowie dem Vorwissen der Projektpartner erfasst. Davon ausgehend erfolgte die Erarbeitung eines Grobkonzeptes in Zusammenarbeit mit den Technikpartnern (BUW, HfWU, PI), das verschiedene Ausgestaltungen der VertiKKA beinhaltet.

Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- Identifikation aller möglichen Teilbereiche der VertiKKA, in denen es verschiedene Ausgestaltungsvarianten gibt: Photovoltaik, Begrünungsmodul, Abwassermanagement
- Zusammenstellung aller Ausgestaltungen
- Erhebung der Vor- und Nachteile der Ausgestaltungen

Die Ausgestaltungsmöglichkeiten sind im Folgenden dargestellt:

- Photovoltaik: PV-System, PV-Modulaufbau, Abstand PV zur Pflanze, Größe PV-Modul, opaker Anteil
- Begrünungsmodul: Art des Moduls und Hersteller, Pflanzenauswahl, Substratauswahl, Anfall an Pflanzenabfällen
- Abwassermanagement: Bewässerungssubstrat, Vorbehandlung, Menge des Bewässerungssubstrats, Beschickung Modul, Verteilung des Bewässerungssubstrats im Modul, Substratmaterial, Substrateigenschaften, Substratverteilung, Kontaktzeit, Entsorgung der Feststoffe aus dem Modul, Ablaufort

Das Bewässerungssystem basiert auf dem Bewässerungskonzept, das in Abbildung 4 dargestellt ist. Zur Bewässerung der VertiKKA wird das leicht verschmutzte Abwasser (Grauwasser) genutzt. Das Grauwasser wird zunächst in Tanks gesammelt und dann mittels Pumpen über die VertiKKA-Module geleitet. Innerhalb der Module findet neben der Bewässerung der Pflanzen eine Reinigung des Grauwassers statt. Das gereinigte Wasser kann anschließend als Brauchwasser genutzt werden (Versickerung, Bewässerung oder Toilettenspülung).

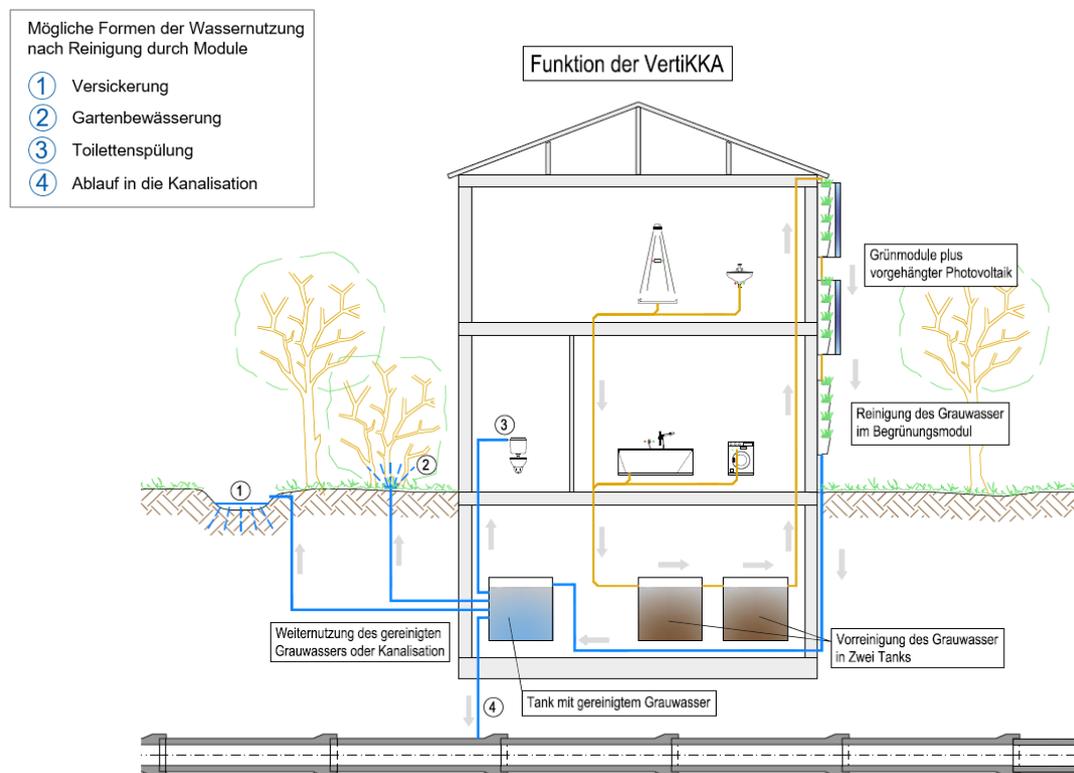


Abbildung 4: Bewässerungskonzept der VertiKKA (eigene Darstellung BCE).

Die Bewertungskriterien beruhen auf den den gewünschten Effekten bzgl. der Nachhaltigkeitsleistung, z.B. Lebenszykluskosten, Energiebedarfe, Treibhausgasemissionen und Stadtklima. Darüber hinaus wurden technische Indikatoren berücksichtigt, wie beispielsweise Temperaturbereich, Windlast, Statikanforderungen, Verdunstungsleistung, Bewässerungsbedarf, Energieertrag, Sicherheitsaspekte, Pflanzenspektrum sowie Akzeptanzkriterien. Vor der Ausgestaltung der darauf aufbauenden Bewertungsmatrix wurden die Systemgrenzen festgelegt, die auch für die Nachhaltigkeitsbewertung und die Erarbeitung des Computersimulationmodells herangezogen wurden. In einem nächsten Schritt wurde ein Bewertungsbogen mit folgenden Kategorien erstellt: Wasser, Technische Kriterien, Energie, Platzbedarf, Luftqualität, Biodiversität, Lärm, Kosten, Soziales, Ökobilanz. Für jede Kategorie wurden alle Inputs zum VertiKKA-Modul, Definition von Bewertungsindikatoren inkl. Messverfahren und die Outputs des Moduls aufgelistet. Die damit entstandenen Bewertungskriterien wurden den Technikpartnern übergeben, sodass diese eine Einschätzung der Datenverfügbarkeit oder Datengenerierungsmöglichkeiten geben konnten.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der VertiKKA liegt in den Synergieeffekten der einzelnen Elemente. Diese sind in Abbildung 5 dargestellt.

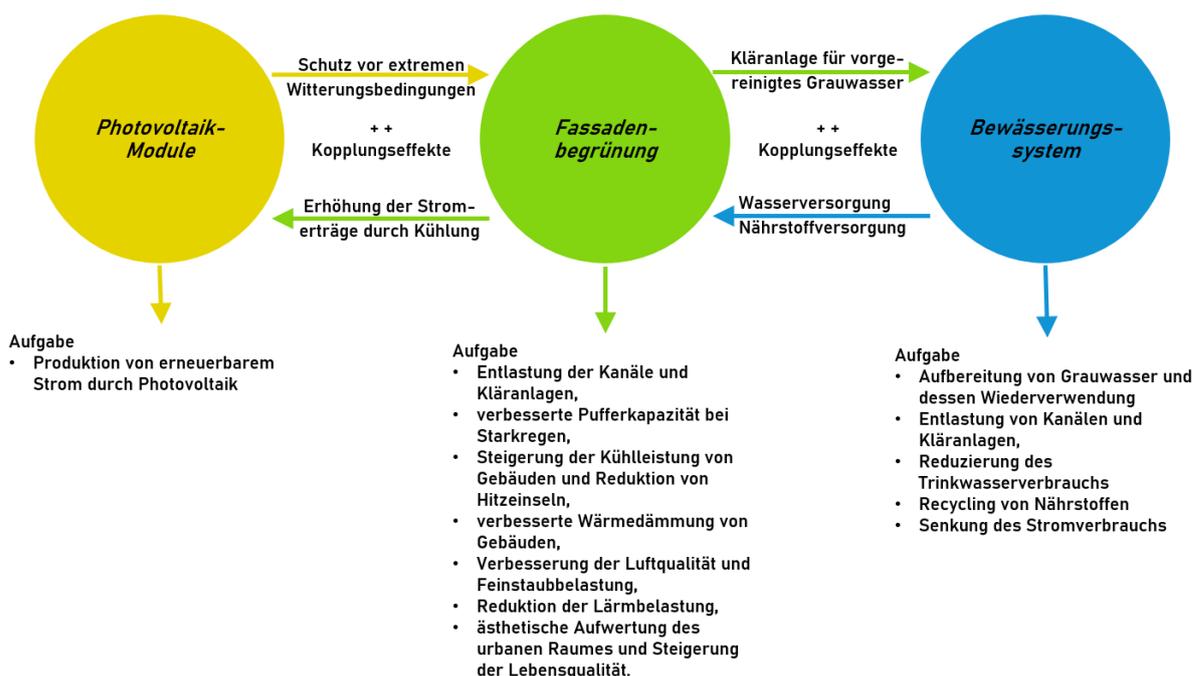


Abbildung 5: Synergieeffekte der VertiKKA-Elemente Photovoltaik, Fassadenbegrünung und Bewässerung (eigene Darstellung BCE)

2.2 AP2: Entwicklung Basiskonzept und Variantenentwicklung (BCE unter Beteiligung aller Partner)

Die in Arbeitspaket 1 entwickelten Varianten wurden auf Grundlage der Einschätzung der Technikpartner einem Grobscreening unterzogen (Abbildung 6). Rechtlich, technisch oder energetisch nicht umsetzbare Varianten wurden dabei aussortiert. Davon aufbauend wurden vier VertiKKA-Varianten definiert, die sich durch unterschiedliche Schwerpunkte auszeichnen. Diese wurden im weiteren Verlauf

getestet (Vergleich AP 3) und regelmäßig an die aktuellen Forschungsergebnisse angepasst. Daraus entstand eine Vorzugsvariante, die als Vorstufe zum Prototypen diente.



Abbildung 6: Prozess des Grobscreenings der VertiKKA-Variante (eigene Darstellung BCE).

2.3 AP 3: Entwicklung und Test eines prototypischen VertiKKA-Moduls

2.3.1 Aufbau des Prototypen (Technikpartner PI Berlin, HfWU, BUW, BCE)

Im Projekt wurden drei verschiedenen Ausformungen der Prototypen (siehe Abbildung 7) entwickelt und im Versuch mit unterschiedlichen Standzeiten getestet. Nur die gewählte Vorzugsvariante „Vertikal-segmentiertes Modul“ konnte in der Kombination Pflanzenvitalität, Substratstabilität und Reinigungsleistung überzeugende Ergebnisse liefern. Die Vorzugsvariante wurde in Bezug auf Substrateffizienz weiter optimiert und an der KA Tiefurt/Weimar für 10 Monate im Freilandversuch getestet. An dem Teststand wurden Werte für die Reinigungsleistung, Zufluss, Pflanzenvitalität, bauphysikalische Kenngrößen und Wetterdaten aufgenommen (Abbildung 1Abbildung 8). Es wurden je zwei kleine Module (40 cm Breite) und zwei große Module (80 cm Breite) gebaut und je ein Hauptmodul (80 cm) und ein Testmodul (40 cm) wurden mit einer identischen Füllung von Reinigungssubstrat gefüllt. Damit konnten Nebenversuche an den kleinen Modulen durchgeführt werden, ohne den Normalbetrieb der großen Module zu unterbrechen.

Die implementierte Peripherie (Pumpenvorlage, Steuerung) als auch die Regenwasserfassung wurden bezüglich der Langzeitauswirkungen gemonitort und ständig optimiert. Als Beregnungssubstrat wurde synthetisches Grauwasser verwendet. Die anvisierte Fassung für reales Grauwasser aus einem Wohnkomplex konnte auf Grund der Corona-Pandemie und den daraus resultierenden Verzögerungen erst zum Ende der Projektlaufzeit realisiert werden und kam nicht mehr zum Einsatz für das VertiKKA-Projekt.

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

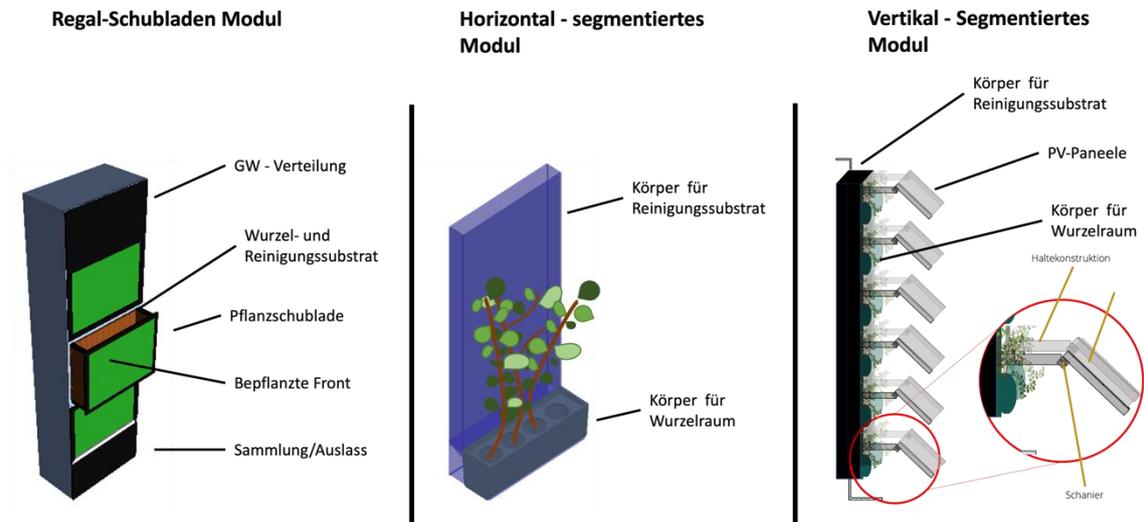


Abbildung 7: Die drei gebauten Modulvarianten: Links als erste Version mit kombiniertem Reinigungs- und Wurzelsubstrat, Mitte mit geteiltem Reinigungssubstrat und unten liegendem Wurzelraum, rechts mit rückliegendem Reinigungskompartment und vorne vertikal getrenntem, aber kommunizierendem Wurzel- und Wuchskompartment (Eigene Darstellung).



Abbildung 8: VertiKKA-Module kurz nach der Bepflanzung (ohne Zulauf- und Ablauf-Peripherie). Links jeweils die 40 cm Module und im mittleren und rechten Segment die 80 cm Module (Foto Aicher).

2.3.2 Untersuchungen zur Grauwasserbewässerung (BUW b.is)

Die Schwerpunkte der Untersuchung bei der Verwendung von (synthetischem) Grauwasser waren einerseits die Pflanzenverträglichkeit und andererseits die Reinigungsleistung der Module.

Pflanzenverträglichkeit: Die Module wurden ausschließlich mit Grauwasser im Normalbetrieb bewässert und keine zusätzlichen Nährstoffe im Wurzelsubstrat oder zum Grauwasser hinzugegeben. Der Pflanzenwuchs ist lediglich auf die im Grauwasser enthaltenen Nährstoffe zurückzuführen. Die Ergebnisse (siehe Tabelle 1) sind mit nur 7 % Ausfall deutlich besser als bei konventionellen Fassadenbegrünungen (ca. 20 % sind dort einkalkuliert).

Tabelle 1: Ergebnisse aus der Pflanzenevaluation. Die dargestellten Ergebnisse zeigen die Endevaluation. Wöchentlich aufgenommene Pflanzenvitalität lässt weitere differenziertere Rückschlüsse auf Pflanzaktivitäten während der verschiedenen Phasen zu.

Einstufung ¹⁾	0	1	2	3	4	5	Gesamt
Modul 1	0	0	0	1	2	10	13
Modul 2	0	0	2	3	1	8	14
Modul 3	1	0	2	4	5	16	28
Modul 4	4	0	0	0	7	17	28
Gesamt	5	0	4	8	15	51	83

¹⁾ Einstufung: 0 = tot, 1 = sehr schlecht, 5 = sehr gut

Es konnten Unterschiede in der Positionierung der Pflanzen innerhalb der einzelnen Module für das Pflanzenwachstum ausgemacht werden. Auch ist ein Einfluss der vorgehängten PV-Anlage bemerkbar, aber durch die nur geringe Abdeckung von nur einem Modul hielt sich die Auswirkung in Grenzen (Blüte nur 2 Tage früher, als ohne PV).

Reinigungsleistung: Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen an den Freilandtests wurde auf die Reinigungsleistung des Grauwassers innerhalb der Anlage gelegt. Hierzu wurden für den Zulauf und die Abläufe aller Module jede Woche eine Probe genommen und im Labor auf die nasschemischen Parameter: CSB_{hom} , CSB_{fil} , PO_4-P , TP, NO_3-N , NO_2-N , NH_4-N , TN_b , BSB_5 , sowie die physikalischen Parameter: Leitfähigkeit und pH bestimmt. Mit den Zulaufvolumina und den vor Ort aufgenommen Beobachtungen kann über einen Zeitraum von 42 Wochen Reinigungsleistungen detailliert dargestellt und mit Nebendaten wie z.B. Außentemperatur korreliert werden.



Stand: 22.02.2022

Stand: 17.05.2022

Abbildung 9: Vergleich der Begrünung noch in der Winterpause (links) und nach dem Austreiben im Frühjahr (rechts) | (Foto links: Nguyen Ah, Foto rechts: Aicher)

Grundsätzlich kann einem der untersuchten Reinigungssubstrate eine hohe Effizienz zur Grauwasserreinigung bescheinigt werden. Die andere Reinigungssubstratmischung eignet sich nur mit Modifikationen der Substrate oder weitere zusätzliche Änderungen im Bewässerungsregime für den Einsatz. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse zur Reinigungsleistung erfolgt in der Dissertation von Andreas Aicher (voraussichtliche Veröffentlichung Anfang 2023).

2.3.3 Pflanzenvitalität (HfWU)

Die Testfläche an der HfWU in Nürtingen war eine Kombination von wandgebundener Begrünung mit semitransparenter Photovoltaik. Dabei wurden ETFE-PV-Module vor einzelnen Modulen installiert sowie ein Vergleichsaufbau ohne vorgehängte PV-Module.



Abbildung 10: Testfläche an der HfWU Nürtingen-Geislingen Standort LVG Braike. Stand 23.05.2022

An dieser Testfläche wurden Forschungsarbeiten zu folgenden Bereichen durchgeführt:

- Temperaturmessungen in Begrünung, am PV-Modul, zwischen PV und Begrünung mit Datenloggern zur Validierung von Leistungsdaten der PV durch Kühlwirkung der Begrünung
- Aufnahme der Pflanzenvitalität mit und ohne PV
- Begleitforschung: Optimierung durch Wurzelheizung
- Flankierende Untersuchung: Feinstaubbindung an Fassadenbegrünung

Pflanzenauswahl:

- Literatur zu Grauwasserverwendung bei Dachbegrünung
- Erfahrung HfWU
- Wintergrüne Arten dominierend
- Geophyten eingestreut

Ergebnisse:

- Bei sehr hohen, sommerlichen Lufttemperaturen ($> 30\text{ °C}$) konnten Lufttemperaturreduzierungen von bis zu ca. $1,5\text{ °C}$ im Bereich der PV-Module in Kombination mit einer Begrünung, im Vergleich zu einem unbegrünten Setup gemessen werden. Dieser deutliche Effekt nimmt mit sinkenden Umgebungstemperaturen ab und ist bei einer Umgebungstemperatur von ca. 20 °C nicht mehr zu beobachten. Über den gesamten Beobachtungszeitraum von August 2021 bis Mai 2022 liegt die Temperatur im Bereich der PV-Module in Kombination mit einer Begrünung im Mittel ca. $0,5\text{ °C}$ unter dem unbegrünten Vergleichs-Setup
- bislang kein Hinweis auf Vitalitätseinschränkungen (in Weimar) durch die GW-Bewässerung (7 % Ausfall – siehe Abschnitt 2.3.2 Tab.1; Ausfallraten von bis zu 20 % nach Winterperioden sind bei etablierten Vlies-Substrat Systemen mit klassischer Bewässerung normal)
- Pflanzen ohne PV-Abschattung wachsen üppiger; Pflanzen mit PV-Abschattung zeigen jedoch außer minimiertem Wachstum keine Vitalitätseinbußen
- Messungen zu der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) für April & Mai 2022 zeigen während der Photoperiode in den abgeschatteten Bereichen hinter der semitransparenten PV einen Mittelwert von $116\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, in den unbeschatteten Bereichen einen Mittelwert von $312\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Somit wird auch bei einer Abschattung durch die

semitransparenten PV-Module im Mittel selbst für Sonnenpflanzen der Lichtkompensationspunkt von $20 - 30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ überschritten. Bei Tagesgängen mit starker Bewölkung liegen die PAR Werte in dem verschatteten Bereich über eine Dauer von ca. 8 h über dem Lichtkompensationspunkt für Schattenpflanzen von ca. $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (siehe Abbildung 11). Somit kann selbst bei einer permanenten Verschattung mittels der verwendeten semitransparenten ETFE PV-Module und einer geringen Verfügbarkeit von Tageslicht mit der entsprechenden Pflanzenauswahl von einer sichergestellten Grundvitalität aufgrund der Transmission des photosynthetisch verfügbaren Lichtes ausgegangen werden

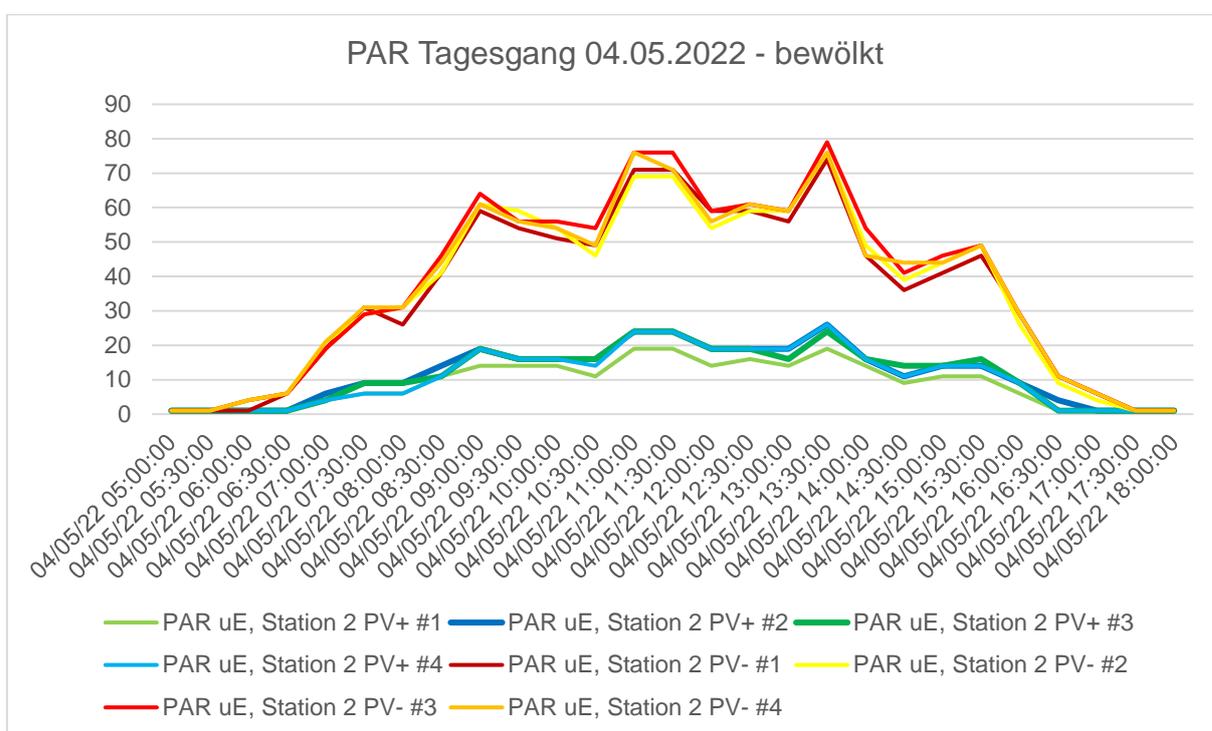


Abbildung 11: Tagesgang der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) in $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ eines bewölkten Tages am 04.05.2022.

- Bei unzureichendem Abstand des Vegetationskörpers (und / oder falscher Pflanzenauswahl / mangelnder Pflege) zu vorgesetzter PV ggf. Gefahr der Verbrennung der Pflanzen bei Auflegen auf PV-Modul und negative Einflüsse auf die PV Leistung → sollte bei elektrisch verschalteter Anlage im Reallabor während der Verstetigungsphase betrachtet werden
 - wenige Pflanzenkrankheiten, können auf einzelne Arten beschränkt werden
 - Hohe Ausfallrate der Pflanzen über den Winter 2020/2021 an der Testfläche in Nürtingen. Gründe:
 - Bewässerungsmanagement
 - unterschiedliche Wasserspeicherkapazitäten der verschiedenen Module
 - Auswahl der Pflanzen (Geophyten zeigten höhere Vitalität)
- Erkenntnis: Winterautomatik in der Bewässerung ist eine Pflicht beim VertiKKA-Modul
- Abwägung zwischen höherem Substratvolumen (größere Wasserspeicherkapazität) und geringeres Modulgewicht

- Verschattung der PV hat Letalität bei dem erhöhten Trockenstress im Winter 2020/2021 systemunabhängig reduziert
- Ein verbessertes Bewässerungsmanagement im Winter 2021/2022 mit einer Überwachung mittels systemintegrierter Bodenfeuchte-Sensorik konnte die hohe Ausfallrate auf einen Maximalwert im Normbereich von < 20 % reduzieren (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13).

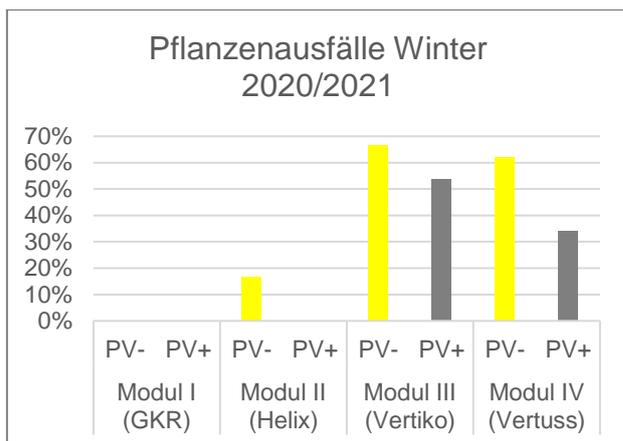


Abbildung 12: Systemabhängige Pflanzenausfälle Winter 2020/2021

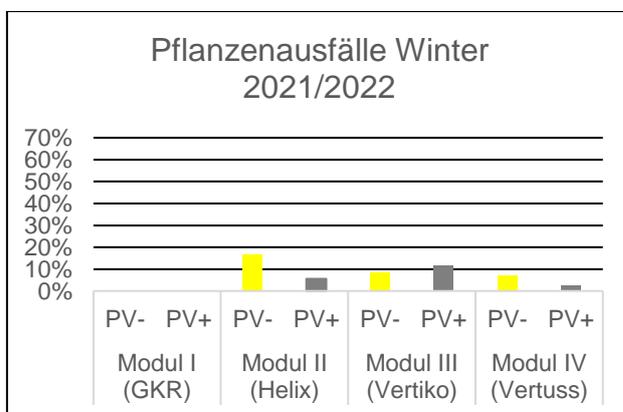


Abbildung 13: Systemabhängige Pflanzenausfälle Winter 2021/2022

- Zudem zeigte sich bei einem Hagelereignis in Nürtingen, dass die Pflanzen durch die PV vor dem Hagel geschützt wurden.

Begleitend wurde eine Masterarbeit angefertigt, die die winterliche Optimierung durch Wurzelheizung untersuchte. In diesem Rahmen wurde eine Begleitheizung im Wurzelbereich in einem zusätzlichen Versuchsaufbau (Helix Urbana Module) installiert und die Effekte hinsichtlich Pflanzenwachstum und –vitalität ausgewertet. Zur Kontrolle wurde ein zweiter, identischer Systemaufbau ohne Begleitheizung errichtet. Neben den Betrachtungen der Effekte einer Wurzelbegleitheizung wurden zusätzlich Substrate in unterschiedlicher Kombination von Blähglas, Pflanzenkohle (PK) und klassischem Substrat auf die Vitalitätsentwicklung der Pflanzen untersucht.

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

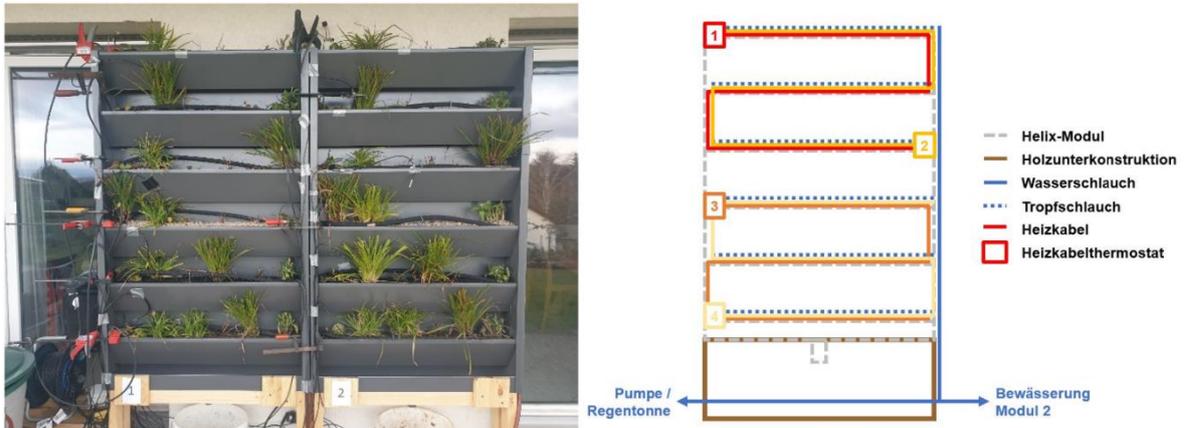


Abbildung 14: Vergleichender Versuchsaufbau für die Betrachtung der Effekte einer Wurzelbegleitheizung und unterschiedlichen Substraten

Ergebnisse:

- Wurzelbegleitheizung: Wintergrüne Pflanzen profitieren von der Wurzelheizung und sind nach Winter vitaler, Vitalitätseinbuße durch Frostrocknis konnten minimiert werden. Laubabwerfende Arten brauchen die Ruhephase im Winter und zeigen eine verringerte Vitalität, der Effekt der Frostrocknis spielt bei laubabwerfenden Arten keine Rolle; Nachteil: Heizung sehr energieintensiv
- Substrat: kaum Unterschiede bei verschiedenen PK-Substraten oder auch klassischem Substrat, lediglich reines Blähglas schneidet im relativen Gesamtwachstum der Pflanzen deutlich schlechter ab

Darüber hinaus wurden flankierende Untersuchungen im Rahmen des Projektes eingeleitet, die in einem Promotionsvorhaben untersucht werden. Dabei handelt es sich um Untersuchungen zur Feinstaubbindungen unterschiedlicher wandgebundener Begrünungen mittels eines Modellversuchs in Messkammern mit künstlichen Feinstaub sowie einem Praxisversuch an Modellflächen in Essen und Darmstadt. Allerdings konnten diese Untersuchungen im Laufe der Projektlaufzeit nicht abgeschlossen werden, die Ergebnisse stehen zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichtes noch aus.

2.3.4 Photovoltaik (PI Berlin)

Voruntersuchungen zur Eignung verschiedener Solargläser:

- Bestimmung der optischen Glasdiffuser-Wirkung an Glastypeen mit unterschiedlicher Struktur bei den Abständen 25 cm und 50 cm zw. PV-Modul und Pflanze.

Ergebnis:

- die rel. Bestrahlungsstärke nimmt hinter der Solarzelle bei flachem Glas ab. Mit zunehmender Strukturtiefe nimmt sie jedoch zu, d.h. das Glas bricht die Sonnenstrahlung auf die Pflanze.
- vorzugsweise soll bei einem Glas mit tiefer Struktur für das PV-Modul verwendet werden, da so eine gleichmäßige Bestrahlung der Pflanze auch bei kurzen Abständen erzielt werden kann.

- Versuche zur Langzeitstabilität an Folie-Folie-Solarmodulen durch Tests in der Klimakammer (UV-Bestrahlung mit Ultraviolettstrahlung mit 60 kWh/m², Damp-Heat 1000h bei 85°C, Temperaturzyklus von -45-85°C)

Ergebnisse:

- Die Stabilitätsuntersuchungen zeigen ausreichende Ergebnisse, wobei aber der Folie-Folie Ansatz im Zusammenspiel mit der wasserbasierten PV anfällig gegenüber mechanischen Einwirkungen ist sowie ein erhöhtes Korrosionsrisiko der elektrischen Kontakte wegen der geringeren Feuchtigkeitsbarriere - Eigenschaften der teflonbasierten Folien.
 - Im Detail wurde nach 1000h DH eindringende Feuchte sichtbar, dessen Leistungsverlust aber nur gering ist.
 - Nach den TC-Prüfungen wurden Grid-Unterbrechungen und Leistungsverluste sichtbar.
 - Die Nachmessungen zur UV-Stabilität zeigten keine Degradationen auf.
- Charakterisierung der Langzeit getesteten transparenten Rückseitenfolien:
 - Vermessung der spektralen Transmission und der elektrischen Isolationsspannung vor und nach UV-Bestrahlung (60°C für 1776h) und dauerhafter Temperaturbehandlung (120°C für 2496h)
 - Analyse mittels Fourier-Transform-Infrarot Spektroskopie zur Bestimmung der Polymergrundstoffe

Ergebnisse spektrale Transmission:

- Transmission und Isolationsspannung nehmen etwas ab, aber im angemessenen Bereich
 - Degradation sind sichtbar durch die Alterung, schlägt sich im „grünen“ Wellenlängenbereich (500...550 nm) nieder
 - manchmal ist der Einfluss der UV, manchmal der des Temperaturstresses größer auf Transmission
- Trotz der starken Belastung ist nur eine geringe Transmissionsänderung sichtbar (Bestrahlung entspricht ca. 20 Jahren Outdoor)

Ergebnisse elektrische Isolationsspannung

- tendenziell ist eine Verbesserung der Isolationsspannung durch die Alterung der Proben sichtbar

Ergebnisse Fourier-Transform-Infrarot Spektroskopie (FTIR):

- Vorder- und Rückseiten weisen die gleichen Oberflächen-Eigenschaften auf. Keine Veränderung durch die Alterung erkennbar

Realisierung von flexiblen PV-Moduldummies (Leichtbau PV-Modul)

- Der Bereich der Solarzelle ist opak, Strahlung geht nur in den Zwischenräumen durch (Pflanzenverfügbar)
- Entwurf des Moduls: 14 bifaziale Solarzellen, 43 % der Fläche belegt mit Solarzellen
- Messungen der optischen Eigenschaften: Spektrale Transmission: ETFE und Verkapselungsfolie sind bei UV-offen
- Herstellung der Dummies für den Standort Nürtingen im eigenen Labor

Projekträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

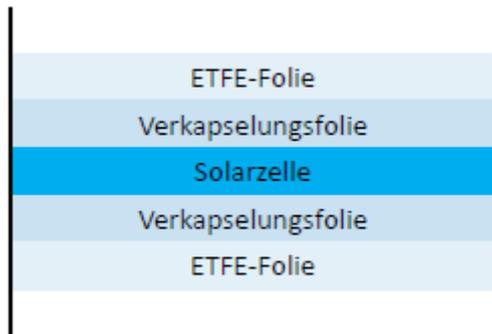


Abbildung 15: Aufbau des PV-Moduls mit ETFE-Folie

Bau eines Demonstrators (bei Berlin, in Weimar werden keine Untersuchungen zu PV-Eigenschaften gemacht)

- Ost-Süd ausgerichtet
- 3 PV-Module mit bifazialen Solarzellen
- Diverse Sensorik zur Steuerung: Bestrahlungsstärken-, Windsensor, Temperatursensor
- Zustände: geschlossen, offen
- geschlossener Zustand zum Schutz der Pflanzen vor Starkregen, Starkwind, Kälte

→ elektrische Erträge des Moduls untersucht; Ausbeute 80 %

→ Erträge über die Rückseite untersucht: Ausbeute ca. 12 % (beides bei grauer Fassade)

Optimaler Abstand zwischen PV-Fassade und Pflanze im geschlossenen Zustand (leistungsoptimiert) (Laborversuche):

- Kunstrasen mit quasi gleichen Reflexionseigenschaften wie Pflanze

→ Beim Abstand von ca. 15 cm ergibt sich ein Maximum in der Leistung der Rückseite (+3,2 W → 6% der verfügbaren Leistung)

Elektrische und mechanische Einbindung vom PV-Modul:

- Erstellung von Konzept für elektrische Zuführung einer VertiKKA-Fassade

Simulation der PV:

- Untersuchung und Vergleich von 9 elektrischen Verschaltungskonzepten durch Modelle in Simulink
- Betrachtung von Verschattungsfällen
- Entwicklung verschiedener elektrischer Verschaltungen zur Reduzierung der Abschattungsverluste und zur homogenen Bestrahlung der Pflanzen im geschlossenen Zustand;

Ergebnis:

- Worst case Verschattung: vertikale und horizontale Verschattung
→ horizontale Verschattung hat größeren Einfluss als vertikale
→ Halbzellen und ein Mix aus Reihen- und Parallelschaltung sorgen für eine höhere Verschattungstoleranz
→ Viele kleinere Zellen führen zu einer gleichmäßigeren Ausleuchtung der Pflanze als wenige große Solarzellen im PV-Modul

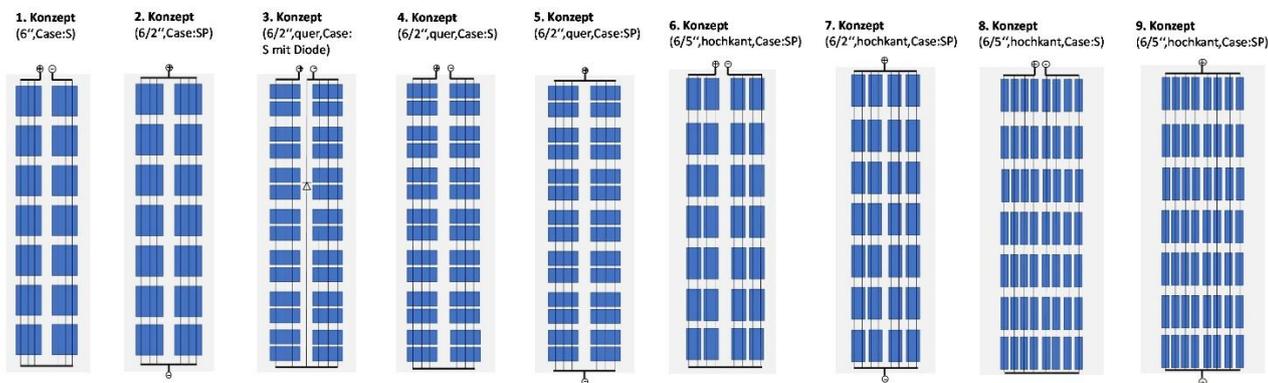


Abbildung 16: Elektrische Verschaltungskonzepte (PI Berlin).

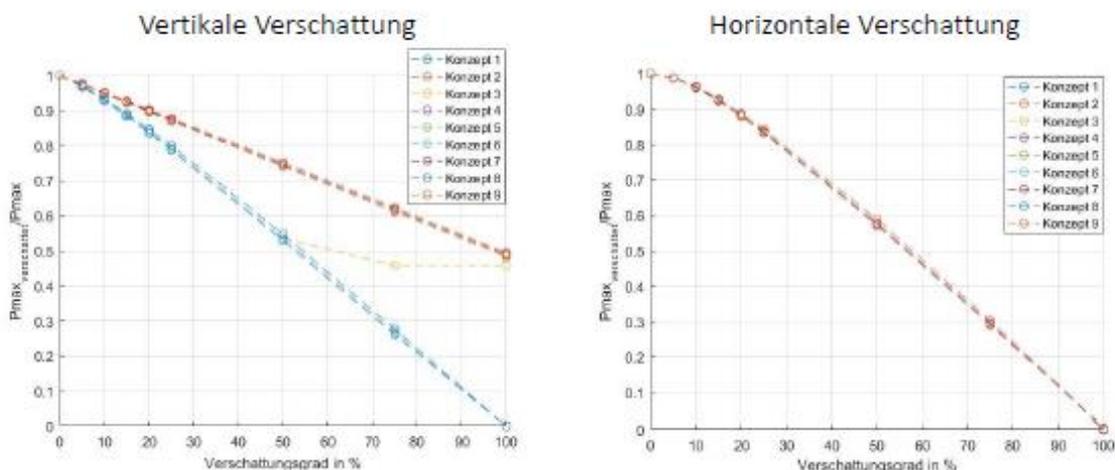


Abbildung 17: Vergleich der elektrischen Verluste (PI Berlin).

2.3.5 Bauphysikalische Untersuchungen (BUW BP)

Die bauphysikalischen Untersuchungen wurden an dem in Tiefurt bei Weimar verorteten Prototypen der VertiKKA vorgenommen, welcher sich an einem Testcontainer befand. Die Messungen dienten der Bewertung des Einflusses der VertiKKA auf den U-Wert und wurden daher während der winterlichen Heizperiode durchgeführt. Mit Sensoren wurde die Oberflächen- und Lufttemperatur innen und außen sowie die Wärmestromdichte durch die Außenwand bestimmt. Die Sensoren für die Oberflächentemperatur befanden sich an der freien Wand ohne VertiKKA sowie an der Wand hinter der VertiKKA. Um den U-Wert zu berechnen, wurden drei verschiedene Filterungsmethoden auf die Messdaten angewandt. Erstens: Es wurden alle Messdaten verwendet. Zweitens: Es wurden nur die nächtlichen Messdaten verwendet und drittens: Es wurden die Filterkriterien von der Literatur verwendet. Die Ergebnisse zeigten erneut, dass die VertiKKA den Wärmetransport durch die Außenwand reduzierte. Je nach Filtermethode verringerte sich der U-Wert um 9 bis 18 %. Die maximale Verbesserung betrug allerdings nur 0,038 W/m²K unter Verwendung der nächtlichen sowie aller Messwerte. Des Weiteren fielen die Schwankungen der Wärmestromdichte durch die begrünte Außenwand geringer aus. Dass die Fassade

durch die VertiKKA vor Wärmeverlusten durch Konvektion und Strahlung geschützt wurde, führte zu einer höheren Oberflächentemperatur hinter der VertiKKA. Infolge dessen war die angrenzende Luftschicht 1 bis 2 K wärmer als die Umgebungsluft.

Dieses Verhalten der Luftschicht wirkte sich auch positiv auf das Risiko des Tauwasserausfalls an der Außenwand aus. Tauwasser an der Fassade ist zu vermeiden, denn es bietet Schimmelpilzen und Moosen gute Wachstumsbedingungen, sodass diese der Fassade langfristig schaden würden. Es zeigte sich mit $5,19 \text{ g/m}^3$ zwar eine etwa 2,2 % höhere absolute Feuchte hinter der VertiKKA im Vergleich zur unbegrünten Wand, doch gleichzeitig eine durchschnittlich 6,5 % geringere relative Feuchte (mit 84,7 %). Anhand dieser Ergebnisse wird deutlich, dass die wärmere Luft im Spalt mehr Feuchtigkeit aufnehmen konnte, als die an der unbegrünten Fassade angrenzende Luftschicht. Auch die Taupunkttemperatur im Luftspalt sank von durchschnittlich $0,92^\circ\text{C}$ auf $0,55^\circ\text{C}$ ab – und damit das Risiko des Feuchteausfalls. Das bestätigten die Zeitverläufe der Differenzen zwischen Oberflächen- und Taupunkttemperatur an der begrünter bzw. unbegrünter Außenwand. Während 13 % der über 8000 Datenpaare ein Unterschreiten der Taupunkttemperatur an der Fassade ohne VertiKKA zeigten, war die Taupunktunterschreitung und damit das Risiko des Tauwasserausfalls hinter der VertiKKA vernachlässigbar gering.

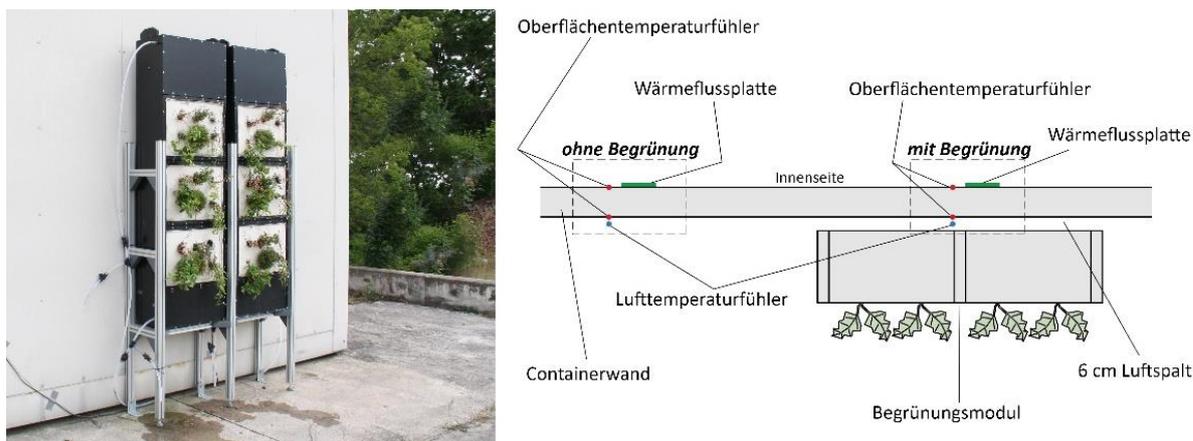


Abbildung 18: VertiKKA-Module am Versuchscontainer (links) sowie der Messaufbau (rechts)

In künftigen Messungen sind die Einflüsse größerer VertiKKA-Flächen den U-Wert einer Wand und ihr hydrothermisches Verhalten zu untersuchen.

2.3.6 Sensorik-Konzept für VertiKKA-Modul (ifak)

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde im Labor des ifak ein funktionsfähiges mobiles Pflanzen-Klär-Modul für den Innenbereich, bestehend aus einem Substratträger, einer Bepflanzung, künstlicher Beleuchtung und einem Pumpsystem zur Kreislaufbewässerung aufgebaut und schrittweise weiterentwickelt (Abbildung 19).

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung



Abbildung 19: Funktionsmuster eines Pflanzen-Klär-Moduls im Labor des ifak.

Auf Basis des Moduls erfolgten der Test und die Optimierung der Sensorik hinsichtlich zu erfassender Messgrößen, geeigneter Messverfahren, sowie Anzahl und Verteilung der Messpunkte in mehrmonatigen Versuchsreihen. Die Messdaten werden hierbei über Datenlogger erfasst und per Wifi in die Cloud weitergeleitet. Über einen kommerziellen Anbieter ist ein ständiger Online-Zugriff auf aktuelle und historische Daten gewährleistet (vgl. Abbildung 20).

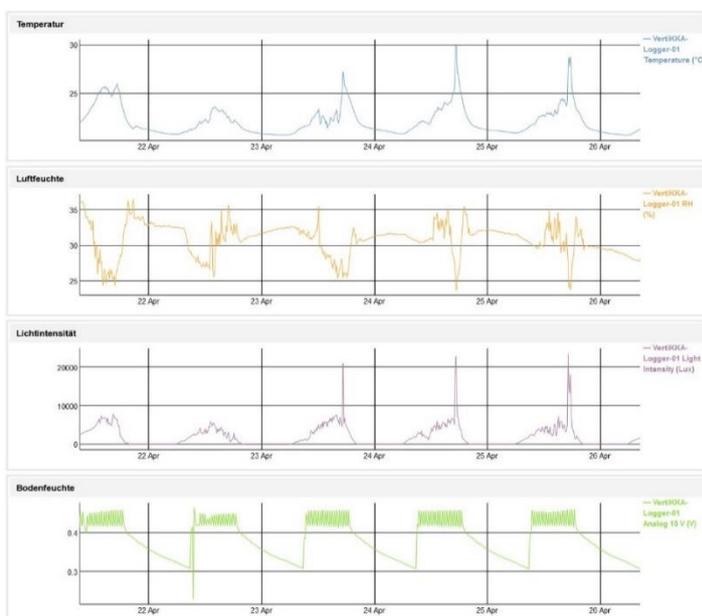


Abbildung 20: Auszug der Sensordaten (Temperatur, Luftfeuchte, Lichtintensität, Bodenfeuchte) im mehrtägigen Dauertest

Aus den hierbei gewonnenen Erfahrungen und Messwerten wurde ein abschließendes Sensorik-Konzept zur Überwachung des VertiKKA-Moduls abgeleitet. Die angestrebte Minimalkonfiguration erfordert die Messung klimatischer Daten wie Lufttemperatur und Luftfeuchte, sowie die Erfassung von Bodenwerten (Substrattemperatur, Substratfeuchte, Leitfähigkeit). Die hierfür vorgeschlagenen Kombi-Sensoren ermöglichen die gleichzeitige Messung mehrerer Messgrößen, benötigen nur wenig Bauraum, sind

ohne nennenswerte Wartungsarbeiten für einen dauerhaften Einsatz geeignet und aufgrund des verwendeten Messprinzips auch für die vorgesehenen Umweltbedingungen ausreichend robust. Auf Grundlage dieses Konzeptes ist eine Sensorüberwachung nahezu unabhängig von Art und Aufbau des VertiKKA-Moduls möglich.

2.3.7 Simulation bauphysikalischer Fragestellungen (BUW BP)

Das Mikroklima in Stadträumen wird mit zunehmendem Klimawandel immer stärker durch den Wärmeinseleffekt beeinflusst. Mithilfe der Software ENVI-met kann das urbane Mikroklima basierend auf den Gesetzen der Strömungsmechanik (Wind), der Thermodynamik (Temperatur) und der allgemeinen Atmosphärenphysik (Turbulenzen) dreidimensional simuliert werden. Durch solche Simulationen eines Wohnquartiers in Stuttgart stellte sich heraus, dass die VertiKKA, großflächig angewandt, das Stadtklima verbessert und die thermische Behaglichkeit im Außenraum potentiell steigern kann. Bevor die Software ENVI-met zur Simulation des Mikroklimas zum Einsatz kam, wurde sie mithilfe von Messungen am Campus der Bauhaus-Universität Weimar validiert. Das Wohnquartier in Stuttgart erstreckte sich über eine Fläche von 146 m x 324 m und wurde zum einen ohne Begrünung und zum anderen mit vollflächiger Begrünung an drei Gebäudeseiten (nicht im Nordosten) simuliert. Ausgewertet wurden die Simulationen in insgesamt zwölf Punkten, die in Innenhöfen, Straßenzügen und am Modellrand lagen. Die Lufttemperatur konnte um bis zu 0,57 K reduziert werden. Während diese Änderung, wie zu erwarten war, eher gering ausfielen, konnte die Mittlere Strahlungstemperatur (MRT) deutlich stärker reduziert werden (bis 3,04 K). Die Absenkung der Luft- und Mittleren Strahlungstemperatur steigert das Behaglichkeitsempfinden im Außenraum während sommerlicher Hitzeperioden. Die maximalen Oberflächentemperaturen der begrünten Außenwand wurden, verglichen zu denen der unbegrünten Wand, um bis zu 21,9 K reduziert. Dadurch sank auch die Innenraumtemperatur um bis zu 3,77 K. Das heißt, die VertiKKA kann während des Sommers gleichsam die Behaglichkeit im Innenraum steigern und den Bedarf raumluftechnischer Anlagen reduzieren. Die relative Luftfeuchte wurde um bis zu 5,07% erhöht. Eine höhere Luftfeuchte kann zwar das Behaglichkeitsempfinden verringern, allerdings nicht in dieser Größenordnung. Ein positiver Effekt ist jedoch, dass sich Feinstaubpartikel an die Wassermoleküle in der Luft binden können und die schwereren Partikel schließlich zu Boden sinken. Daraus folgt, dass die Feinstaubkonzentration in der Luft durch Fassadenbegrünung potentiell gesenkt werden kann. Die Windgeschwindigkeit wurde lediglich unmittelbar am Laub der VertiKKA reduziert (0,25 m/s). Auch diese Eigenschaft der VertiKKA trägt im Vergleich zur Begrünung durch Alleen dazu bei, dass eine Ansammlung von Feinstäuben in dicht bebauten und schlecht belüfteten Straßenzügen vermieden wird.

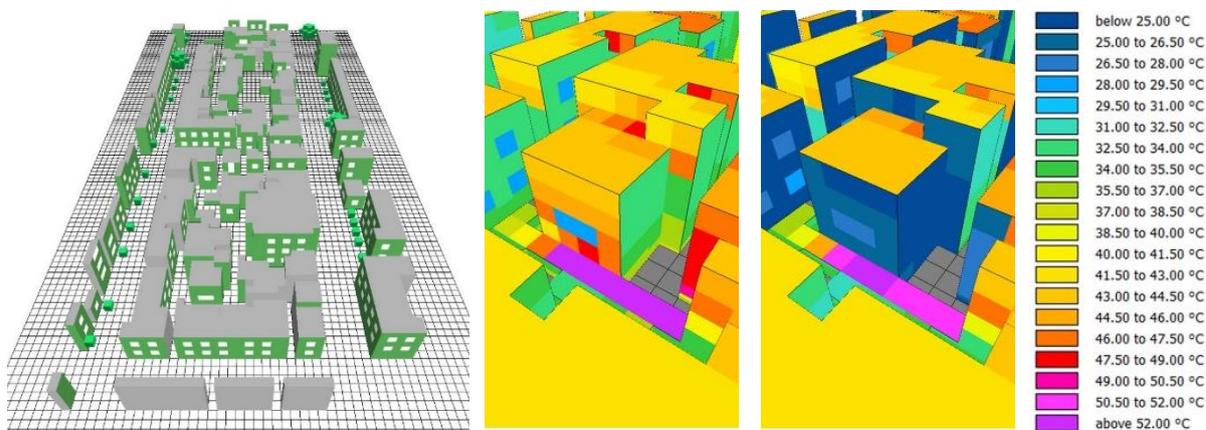


Abbildung 21: Begrüntes ENVI-met-Modell (links) und Vergleich der Oberflächentemperaturen der Außenwand ohne VertiKKA und hinter der VertiKKA (von links nach rechts) am 28.06.2019, 17 Uhr

Die Luftströmungen vor und hinter der VertiKKA wurden mit weiteren sogenannten Computational Fluid Dynamics-Simulationen (CFD) untersucht. Dabei wurden die vor der VertiKKA befindlichen Photovoltaik-Module in die Betrachtungen einbezogen. Die Simulationen erfolgten mit dem Tool ANSYS Fluent für den stationären Fall und an einem zweidimensionalen unbegrünten und begrünten Modell. Um die Eigenschaften der Luftströmung durch die Begrünung zu berücksichtigen, wurden benutzerdefinierte Funktionen (UDF) auf die Begrünungsflächen angewandt. Diese wurden zuvor für drei k - ϵ -Modelle validiert. Die Auswirkungen der Umgebungsrauigkeit wurden unter Verwendung verschiedener Rauigkeitslängenwerte z_0 und der geometrischen Rauigkeitsmodellierung untersucht. Im Luftspalt hinter der VertiKKA waren die Windgeschwindigkeiten am geringsten und betragen selten mehr als 0,15 m/s. Innerhalb des Blattwerks stiegen die Geschwindigkeiten auf etwa 0,20 m/s, in einigen Fällen auch darüber. Die höchsten Geschwindigkeiten wurden hinter den PV-Modulen mit durchschnittlich 0,50 m/s festgestellt. Daraus ergaben sich Luftwechselraten von durchschnittlich 360 h⁻¹, 480 h⁻¹ bzw. 1200 h⁻¹ für die benannten Bereiche. An der unbegrünten Fassade betrug die Windgeschwindigkeit 0,60 m/s. Die Ergebnisse der Windgeschwindigkeiten aus den CFD-Simulationen variierten mit den Rauheitscharakteristiken der Umgebung und der untersuchten Höhe.

Der Einfluss der VertiKKA auf die Außenwand wurde mittels hygrothermischer Simulationen unter Verwendung der Software Delphin untersucht. Zuvor wurde das Mikroklima unmittelbar an der VertiKKA mit der Anwendung ENVI-met ermittelt (Lufttemperatur und relative Luftfeuchte im Laub, Windgeschwindigkeit und -richtung unmittelbar vor dem Laub sowie lang- und kurzwellige Strahlung an der Substratoberfläche). Die zeitlichen Verläufe der Parameter stellten die Randbedingungen der Delphin-Simulationen dar. Durch diese wurde der gekoppelte Wärme-, Feuchte- und Stofftransport in kapillarporösen Baustoffen eindimensional ermittelt. Es wurden vier verschiedene Wandaufbauten mit und ohne die VertiKKA simuliert und die Ergebnisse miteinander verglichen. Die VertiKKA beeinflusste den Wärmeübergangskoeffizienten (U-Wert) in allen Fällen positiv. Je schlechter der U-Wert der unbegrünten Referenzwand war, umso höher war die Dämmwirkung der VertiKKA. An der ungedämmten Ziegelwand konnte der U-Wert um 0,77 W/m²K verbessert werden, an der hochgedämmten zweischaligen Wand nur um 0,04 W/m²K. Die VertiKKA reduzierte die Oberflächentemperatur deutlich und reduzierte gleichzeitig Temperaturschwankungen. An Sommertagen war die Wandoberfläche ohne VertiKKA durchschnittlich 7,2 K wärmer, in Sommernächten 5,8 K und in Winternächten 6,2 K. Dieser Effekt war hauptsächlich auf die Verschattung der Fassade zurückzuführen und fiel geringer aus, je besser die Fassade gedämmt war.

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

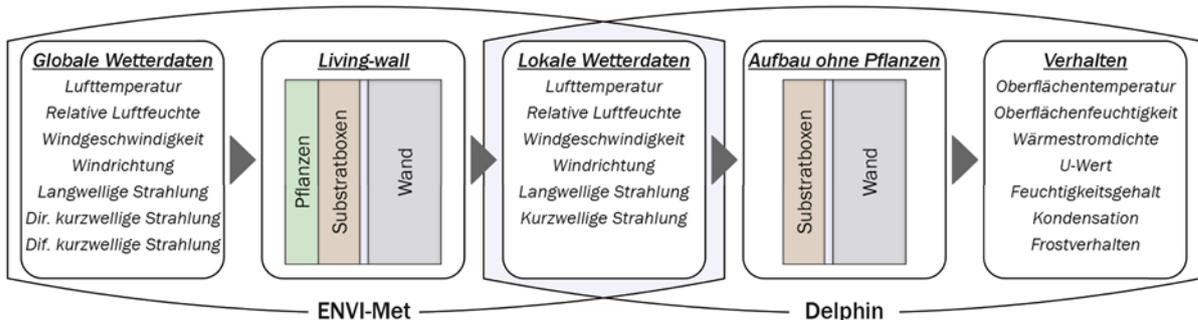


Abbildung 22: Kopplung des Vegetationsmodells in ENVI-met mit dem hygrothermischen Tool Delphin

Eine weitere Untersuchung befasste sich mit dem Einfluss der VertiKKA auf den Nutzenergiebedarf eines exemplarischen Wohngebäudes. Dabei wurde das jährliche Heizwärme- und Kühleinparpotential durch die VertiKKA für vergleichbare Gebäude (WDVS, U-Wert $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$) und mitteleuropäische Breitengrade (wie Großbringen, Weimar) ermittelt. Dazu wurde die Gebäudesimulationssoftware EnergyPlus verwendet. In die Anwendung integriert ist das sogenannte Green-Roof-Modul, das zur Abbildung der VertiKKA in senkrechter Orientierung an der Fassade zum Einsatz kam. Zuvor wurde der Energiebedarf des Gebäudes mit den tatsächlichen Verbrauchsdaten aus drei Jahren abgeglichen. Untersucht wurden Begrünungen in verschiedenen Himmelsorientierungen, verschiedene Bedeckungsgrade und die Performance der VertiKKA an verschiedenen Wandaufbauten. Als optimales Begrünungsszenario stellte sich Sommer wie Winter die Begrünung der Südostfassade heraus. Dabei konnten $0,4\%$ des Heizwärme- und $10,8\%$ des Kühlbedarfs eingespart werden. Insgesamt lag das Einsparpotential nur geringfügig unter dem der vollständigen Begrünung aller Gebäudeseiten. In dem Fall lagen die Einsparungen im Winter bei $0,3\%$ und im Sommer bei $19,3\%$, aufgrund der Kürze der Kühlperiode insgesamt jedoch nur bei $0,5\%$. Als effektiver hinsichtlich der verwendeten Modulzahl stellte sich jedoch ein Bedeckungsgrad von 50% heraus. Die Ergebnisse zeigten, dass die ganzjährigen Nutzenergieeinsparungen für den untersuchten Breitengrad vernachlässigbar gering sind, denn die gewichtigen Heizwärmeeinsparungen waren marginal. Dennoch waren die Kühleinparungen auch bei guten Dämmungen nennenswert hoch ($10,5\%$ bei U-Wert von $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$).

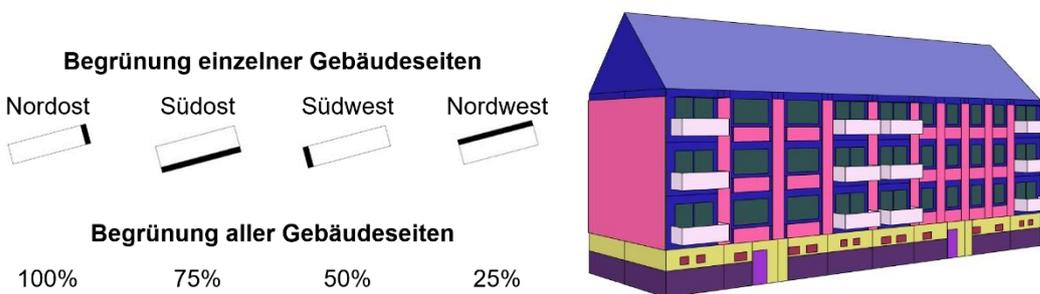


Abbildung 23: Übersicht Sensitivitätsanalyse (links) und vertikale Anwendung des Gründachmodells (dargestellt in pink, rechts)

2.3.8 Theoretische Umsetzung der VertiKKA an dem Verwaltungsgebäude der StEB Köln (BCE)

Für die Entwicklung der kompletten VertiKKA, welche neben der Entwicklung des Moduls die Konkretisierung des Gesamtkonzepts VertiKKA, also der Integration in die gebäudetechnische Umsetzung beinhaltet, wurde eine theoretische Planung einer mit VertiKKA-Modulen gestalteten Fassade vorgenommen. Damit werden die Verbindungen der einzelnen Module untereinander sowie die Schnittstellen zur Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) sichtbar. Hierfür wurden die Abteilungen Architektur, TGA und Baustatik von BCE einbezogen. Des Weiteren kann durch diese Planung die Möglichkeit einer Genehmigung bei den Behörden besser abgefragt werden.

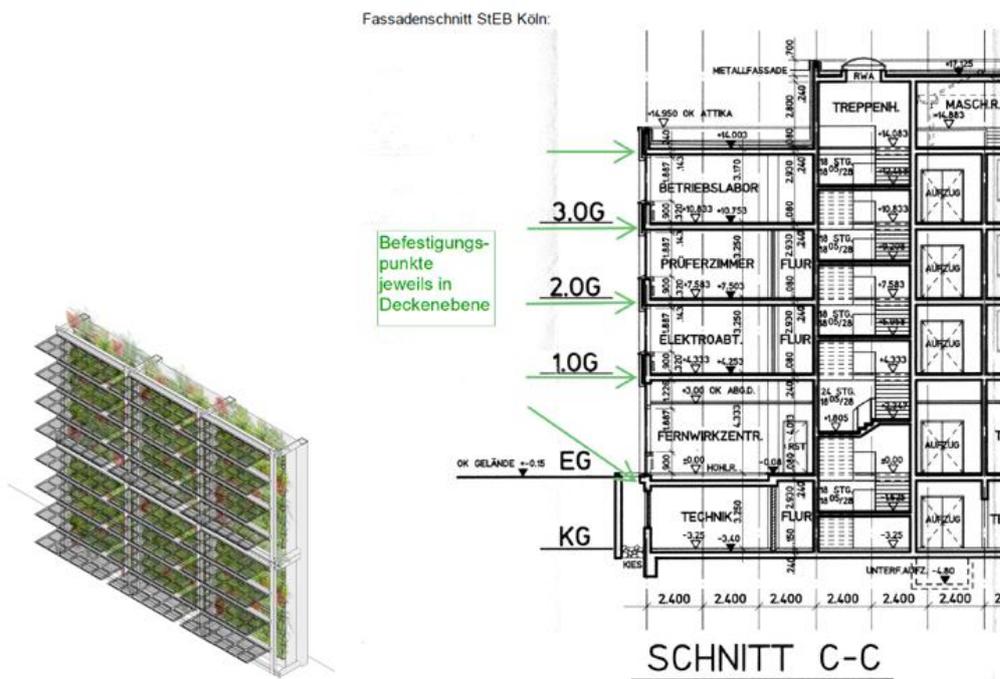


Abbildung 24: Darstellung der VertiKKA (links) sowie theoretische Planung der Befestigung am Gebäude der StEB (Eigene Darstellung BCE)

Erkenntnisse aus dem Planungsprozess für die Weiterentwicklung der VertiKKA:

Erfahrungen aus der Planung für weitere Prozesse; Rückschlüsse der Erfahrungen auf die Anwendbarkeit der VertiKKA im Planungskontext:

- die gleichzeitige Versorgung und gleichmäßige Verteilung auf die Module stellt eine Schwierigkeit dar
→ hier konnte mit einem Quelltopf eine universale Lösung gefunden werden
- die Planung der Rohrleitungen wird immer eine individuelle Leistung bleiben
- das Nacheinanderschalten von 3-4 Modulen zu einem Modulstrang erweist sich als sehr sinnvoll
- am StEB-Gebäude liegen die Sanitärstränge sehr weit auseinander. Bei zukünftigen Planungen sollte betrachtet werden, wie viel Grauwasser pro Sanitärstrang anfällt und die Planung dementsprechend ausgelegt werden. Der Aufwand, mehrere Stränge zusammenzubringen muss

mit in die Entscheidung einfließen. Evtl. ist auch eine tlw. Nutzung des anfallenden Grauwassers sinnvoll

- Grauwasseranfall in Bürogebäuden ist gering
 - lange Leitungsplanung notwendig
 - eine Unterdruckentwässerung aller Teilströme könnte sinnvoll sein
- Die Statik des Daches muss betrachtet werden, da die Speichertanks des Grauwassers ein hohes Gewicht ergeben
- Fassade müsste bei alten Bestandsgebäuden in Rohbauzustand versetzt werden (schlechter Zustand der Fassade des StEB-Verwaltungsgebäude), daher ist die Installation einer VertiKKA-Fassade am Altbau vor allem sinnvoll zu einem Zeitpunkt, wenn eine energetische Sanierung ansteht oder bei Neubau
- Materialauswahl: Verzicht auf energieintensive, erdölbasierte Produkte
- Optimierung: Reduktion der Anzahl der Anschlusspunkte an Fassade
 - Dies kann durch ein verstärktes Profil oder durch eine Lastverteilung auf Querriegel erreicht werden
- Die Optimierung der Anzahl der Anschlusspunkte sollte durch die Bauphysik durchgeführt werden unter Berücksichtigung von Wärmebrücken und Bauteilschutz

2.4 AP 4: Erarbeitung eines Computersimulationsmodells (ifak)

In Arbeitspaket AP4 wurde durch den Projektpartner ifak ein Computersimulationsmodell erstellt, das verschiedene Zielrichtungen abdeckt: Zum einen dient es zur gesamthaften Darstellung der Volumen-, Stoff- und Energieströme der VertiKKA-Systems (um dadurch auch ein Vorplanung auf Gebäude- und Quartiersebene sowie die Stakeholder-Kommunikationsprozesse zu unterstützen), zum anderen unterstützt die Modellierung sowohl den Entwurf von Steuerungs- und Regelungskonzepten als auch eine Nachhaltigkeitsbewertung des VertiKKA-Systems im Vergleich verschiedener Varianten.

Für alle Modellierungsarbeiten in diesem Arbeitspaket dient das am ifak entwickelte und in der siedlungswasserwirtschaftlichen Ingenieurpraxis weit verbreitete Simulationssystem SIMBA# (ifak, 2021)¹ als Basis. Dieses erlaubte es auch, die von den Partnern erhobenen Messdaten in einer einheitlichen Datenstruktur und -verarbeitungsebene zusammenzuführen.

Die Modellierung des VertiKKA-Systems erfolgt in vier Kernmodulen, die in enger Interaktion miteinander stehen. Im Gegensatz zu den in AP3 durchgeführten bauphysikalischen Detailsimulationen mit hohem Detaillierungsgrad besteht eine typische Modellierungsanwendung des in AP4 erarbeiteten Simulationsmodells in der Simulation über längere Zeitreihen (beispielsweise ein Jahr), um das Gesamtverhalten der VertiKKA über längere Zeiträume abzuschätzen und entsprechende Kenngrößen (beispielsweise Energieerzeugung, Energieverbrauch, Wärmebilanzen, ...) zu ermitteln. Diese Modellierungsaufgabe kann als anspruchsvoll bezeichnet werden, da die Integration von Fachwissen aus verschiedenen Fachdomänen erforderlich war.

¹ ifak (2021): Simba#, Version 5. Manual, Institut für Automation und Kommunikation e. V. (ifak), Magdeburg

Die einzelnen Kernmodule umfassen (u. a.) folgende Aspekte:

- **Besonnungsmodellierung:** Abschätzung der (Sonnen-)Einstrahlung in Abhängigkeit u.a. von der geometrischen Ausrichtung der VertiKKA-Fassade, den geographischen Koordinaten und Wetterinformation (z. B. Bewölkung)
- **PV-Modellierung, Bilanzierung elektrischer Energie:** Abschätzung der Elektrizitätsgewinnung aus dem PV-Modul; Abschätzung und Bilanzierung des Energiehaushaltes der VertiKKA-Anlage
- **Pflanzenmodellierung:** Simulation von Pflanzenwachstum, Bewässerungsbedarf und Verdunstungshaushalt, Grauwasserreinigung
- **Fassaden/Wärmehaushalt/Interaktion mit Gebäude, Bilanzierung von Wärmeenergie:** u. a. Auswirkungen auf die Fassadentemperatur in Abhängigkeit von Lufttemperatur, Einstrahlung, Verdunstungsleistung der Pflanzen u. a. m.).

Im Besonnungsmodul erfolgt die Ermittlung der Sonnenstrahlung auf die für die Photovoltaik genutzten Flächen der VertiKKA-Anlagen. Neben den Grunddaten (Ausrichtung und Neigung der Fläche, geographische Koordinaten, Parameter zur Berücksichtigung diffuser und reflexiver Strahlung) können optional auch Zeitreihendaten globaler Horizontalstrahlung in den Berechnungsalgorithmen verwendet werden, um so auch Wetterinformationen (z. B. Bewölkung) mit berücksichtigen zu können. Hierbei erfolgt ein rechnerischer Abgleich aus simulierter (ideale Sonneneinstrahlung) und gemessener (auch durch Wetersituation u.a. beeinflusst) horizontaler Globalstrahlung, die auf die VertiKKA-Fläche fällt.

Aufgrund der Flexibilität dieses Moduls können auch Nachführungsstrategien (einachsig, zweiachsig) der PV-Fläche simuliert werden. Des Weiteren sind auch sämtliche astronomischen Sonderfälle (beispielsweise für Solarmodule in Äquatornähe), bei denen etliche andere Berechnungsmodelle versagen, mit in dem Modul integriert. Berechnungsgrundlagen dieses Moduls basieren auf Schütze (1979², 1990³) und Quaschnig (2011)⁴.

Das PV-Modul ermittelt - in Abhängigkeit von der Einstrahlung auf die PV-Fläche (Output des Besonnungsmoduls) und der Umgebungstemperatur - aus den Kenngrößen der PV-Fläche die erzeugte elektrische Energie als Zeitreihe. Berechnungsgrundlagen dieses Moduls basieren auf Quaschnig (2011) und PI-Institut (2017)⁵.

Ein erfolgreicher Abgleich und Plausibilisierung dieser beiden Module und ihrer Ergebnisse erfolgte durch Testsimulationläufe (jeweils über ein volles Jahr) und Abgleich mit Ergebnissen aus der genannten Literatur sowie mit im Internet verfügbaren Solarrechnern (z.B. www.solarserver.de) sowie durch regelmäßigen Austausch mit dem Projektpartner PI-Institut. Tabelle 2 fasst die Jahreserträge bei unterschiedlichen (statischen) Ausrichtungen der PV-Fläche zusammen.

² Schütze, M. (1979): Konstruktion einer Sonnenuhr-Rechenscheibe und Ableitung einfacherer Formeln für Sonnenuhren; Arbeit zum Wettbewerb „Jugend forscht/Schüler experimentieren“; unveröffentlicht

³ Schütze, M. (1990): Eine einfache Rechenscheibe zur Berechnung beliebiger ebener Sonnenuhrzifferblätter; Schriften des Historisch-Wissenschaftlichen Fachkreises "Freunde Alter Uhren; Deutsche Gesellschaft für Chronometrie; Stuttgart, 31, 161-168

⁴ Quaschnig, V. (2011): Regenerative Energiesysteme, Hanser-Verlag, München

⁵ PI (2017): Modellierung – Ertragsprognosen von PV-Anlagen, Photovoltaik-Institut Berlin, Version vom 16.01.2017

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Tabelle 2: Vom VertiKKA-Simulator berechneter PV-Ertrag für unterschiedlich ausgerichtete PV-Flächen (% zur Maximalleistung bei optimal ausgerichteter Fläche) für Stuttgart.

Neigung	Vertikale Abweichung von Südrichtung [Grad]													
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
horizontal	0°	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60
	10°	93,60	92,86	91,73	90,29	88,62	86,84	85,02	83,28	81,77	80,60	79,88	79,63	79,90
	20°	97,73	96,43	94,44	91,87	88,90	85,64	82,25	78,88	75,76	73,19	71,51	70,84	71,26
	30°	99,89	98,16	95,52	92,13	88,18	83,82	79,20	74,50	69,96	65,97	63,46	62,59	63,13
	40°	100,00	97,98	94,90	90,93	86,34	81,22	75,77	70,13	64,55	59,44	55,91	54,68	55,31
	50°	98,07	95,87	92,52	88,25	83,29	77,78	71,86	65,70	59,53	53,82	49,16	47,37	47,94
	60°	94,15	91,86	88,44	84,11	79,08	73,47	67,43	61,11	54,78	48,98	44,00	41,16	41,54
	70°	88,32	86,05	82,77	78,62	73,79	68,36	62,48	56,28	50,17	44,59	39,85	36,95	36,99
	80°	80,75	78,61	75,69	71,95	67,54	62,54	57,04	51,24	45,57	40,43	36,16	33,64	33,76
vertikal	90°	71,68	69,81	67,42	64,29	60,52	56,14	51,23	46,00	40,94	36,42	32,71	30,61	30,76

Eine besondere Herausforderung stellte die Erstellung des Pflanzenmoduls dar. Im allgemeinen Fall ist hier zum einen der Einfluss der VertiKKA-Bepflanzung auf Wasserbedarf, Verdunstung und Kühlwirkung abzuschätzen, die ihrerseits in Zusammenhang mit Pflanzengröße/-dichte stehen. Zum anderen ist die Reinigungsleistung der in VertiKKA erfolgenden Grauwasserreinigung abzuschätzen. In die Modellerarbeitung für das Pflanzenmodul sind die von den VertiKKA-Partnern erhobenen Messdaten (BUW, HfWU, ifak) eingegangen, die zu diesem Zweck in die Simulationsumgebung importiert wurden und somit unter einer einheitlichen Datenstruktur und Nutzeroberfläche aufbereitet vorliegen.

Zwar liegen zu Pflanzen, insbesondere auch zu Pflanzen in Grünfassaden, einige Informationen und Veröffentlichungen vor (u. a. auch der Projektpartner), jedoch enthalten diese meist wenig quantitative und für eine mathematische Modellierung unmittelbar geeignete Informationen. Im Rahmen von Recherchen wurde auch auf Spezialliteratur zurückgegriffen, aus der einzelne denkbare Modellierungsansätze entnommen werden konnten. Hieraus wurden eigene Modellierungsansätze zur mathematischen Beschreibung des Pflanzenwachstums mit Eingangsgrößen wie Klimadaten, Bewässerungswassermenge, Lichteinfall erstellt (vgl. Zwischenbericht 2020); nach Vorliegen und Abgleich mit den von den Partnern erhobenen Pflanzenvitalitätsdaten wurde jedoch ein einfacherer Ansatz gewählt und schließlich im Gesamtmodellsystem integriert. Hierbei wurde auch das im Verlauf des Projektes geänderte VertiKKA-Konzept, nach dem den Pflanzen stets ausreichend Bewässerungswasser sowie Nährstoffe zur Verfügung stehen, berücksichtigt.

Zur Beschreibung des Wasserbedarfs und der Verdunstung der Bepflanzung wurden ebenfalls verschiedene Ansätze getestet (beispielsweise Verdunstungsansatz nach Dalton (1802)⁶, zitiert nach Hörnschemeyer, 2019)⁷ unter Verwendung der Windgeschwindigkeit nach Vietinghoff (2000)⁸ sowie Berücksichtigung von Temperatur und Luftfeuchte). Ein Abgleich mit einfacheren Ansätzen (Jahres- und

⁶ Dalton, J. (1802): Experimental essays on the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air, on evaporation, and on the expansion of gases. Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester.

⁷ Hörnschemeyer, B. (2019): Modellierung der Verdunstung urbaner Vegetation, Springer Spektrum, Wiesbaden

⁸ Vietinghoff, H. (2000): Die Verdunstung freier Wasserflächen: Grundlagen, Einflußfaktoren und Methoden der Ermittlung. Allensbach: UFO, Atelier für Gestaltung & Verl.

Tagesgang nach Euler (1989)⁹ und Verworn (1999)¹⁰) ergab jedoch vergleichbare Resultate bei Anwendung der einfacheren Ansätze nach Wahl eines geeigneten Kalibrierungsfaktors.

Für die Grauwasserreinigung in der VertiKKA spielt vor allem der CSB-Abbau eine Rolle, da die entsprechenden Richtlinien Vorgaben für die CSB-Konzentration machen. Daher kann die Modellierung der Grauwasserreinigung auf den CSB-Abbau fokussieren. Zwar sind die Adaptation von Ansätzen der Tropfkörpermodellierung (der Aufbau der VertiKKA-Anlage kommt näherungsweise dem einer Tropfkörperanlage nahe) (beispielsweise der im Rahmen der BMBF-Projekte EXPOVAL und EXPOPLAN (DWA, 2017)¹¹ erstellte und aufbereitete Modellierungsansatz für Tropfkörperanlagen) denkbar. Nach Analyse der von den Projektpartnern BUW erhobenen Daten zur Grauwasserreinigung in der VertiKKA-Anlage in Weimar-Tiefurt, die kein klares Abbauverhalten erkennen lassen, ist hier jedoch ein einfacherer Ansatz (Reinigungsleistungen) implementiert worden.

Des Weiteren sind einige Hilfsmodule (Wasser-, Strom- und Wärmeenergiezähler) für die komfortable Nutzung im Simulationssystem erarbeitet worden, um die wesentlichen Kenngrößen der Bilanzierungsergebnisse übersichtlich darstellen zu können (vgl. weiter unten stehende Abbildung 29 und Abbildung 30).

2.4.1 Fassaden- und Wärmemodellierung (ifak)

Zur Berechnung und Bilanzierung der Stoffströme, sowie zur (vereinfachten) Abbildung des Wärmehaushalts im VertiKKA-Fassadenelement wurde das nachstehend dargestellte Modul erarbeitet und in das VertiKKA-Computersimulationstool integriert. Es enthält auch das oben erwähnte Pflanzenmodul als integralen Bestandteil. Dieses Modul bildet die Wärmeströme zwischen Pflanzen, VertiKKA-Element, Luftspalt, Fassade und Gebäudeinnerem ab (vgl. Abbildung 25).

Im Gegensatz zu den an der BUW (Bauphysik) erarbeiteten Detailmodellen der Wärmeströme in und an der Fassade ist das Ziel des in diesem Arbeitspaket erarbeiteten Modellierungsmoduls eine vereinfachte und endanwendergerechte Modellierung der Wärme- und Stoffströme, welche die Bewertung auch längerer Zeitreihen (z. B. Jahreszeitenverlauf) erlaubt.

⁹ Euler, G. (1989): Dokumentation SMUSI, Institut für Wasserbau der TH Darmstadt

¹⁰ Verworn, H.R. (1999): Die Anwendung von Kanalnetzmodellen in der Stadthydrologie. Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz 18, SuG-Verlagsgesellschaft Hannover

¹¹ DWA (2017): Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen. DWA-Themenband T4/2016; korrigierte Fassung November 2017; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef

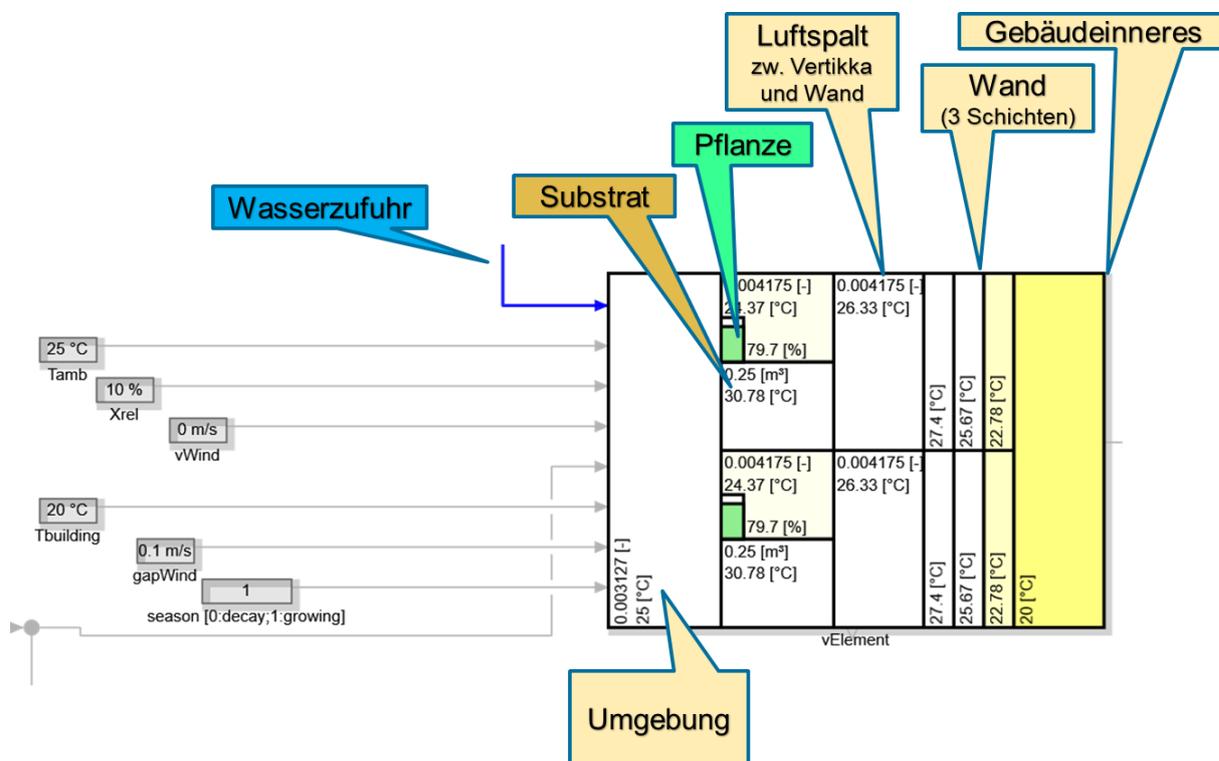


Abbildung 25: VertiKKA-Simulator: Teilmodul zur Wärmebilanzierung des VertiKKA-Fassadenelements

Zusätzlich zum VertiKKA-Fassadenmodul (Abbildung 25) wurden Wandmodule zur Modellierung des Wärmehaushaltes von Wänden ohne VertiKKA-Elemente sowie ein Dachmodul erarbeitet. Somit lässt sich (überschlagsmäßig) der Wärmehaushalt eines Gebäudes im Simulationsmodell abbilden. Abbildung 26 zeigt die Module für die Wärmebilanzierung im Rahmen des VertiKKA-Gesamtmodells. Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen exemplarische Ergebnisse für den Temperaturverlauf im Beispielgebäude in Stuttgart sowie für den hierfür benötigten Wärmeenergiebedarf im Jahresverlauf. Eine Feineinstellung der Modellparameter ist noch nach Vorliegen detaillierterer Gebäudeinformation vorzunehmen.

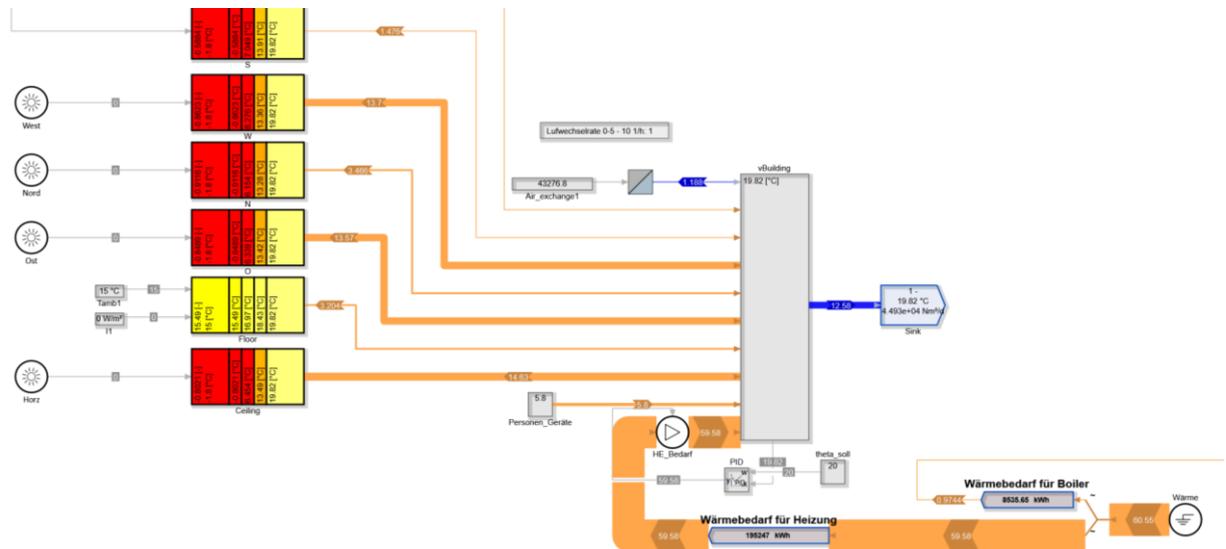


Abbildung 26: VertiKKA-Simulator: Teilmodule zur Wärmebilanzierung in VertiKKA-Element, Gebäudefassaden und Gebäudeinnerem. Darstellung der Momentanwerte [kW] im Sankey-Diagramm sowie der summarischen Jahreswerte [kWh] in den Blöcken „Wärmebedarf“.

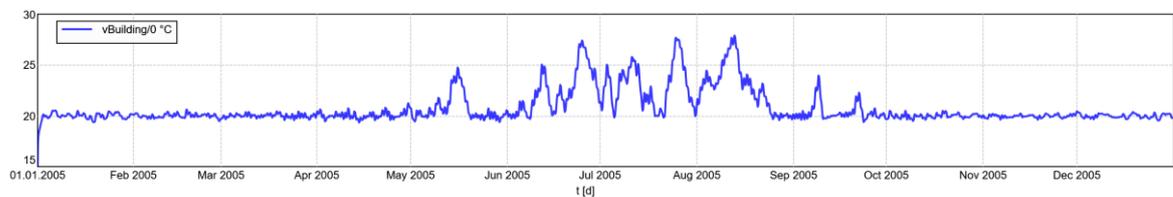


Abbildung 27: Exemplarische Simulationsergebnisse: Gebäudetemperatur

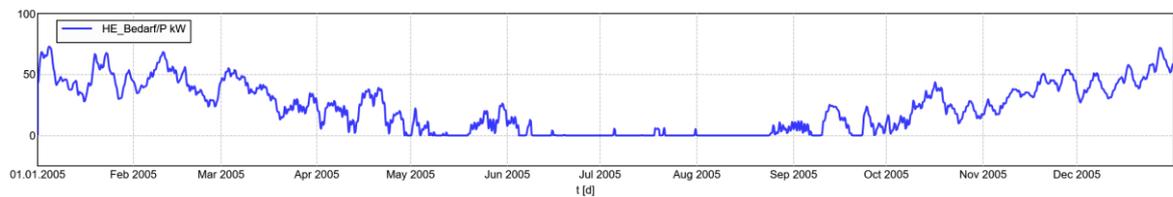


Abbildung 28: Exemplarische Simulationsergebnisse: Zur Erzielung der Gebäudetemperatur benötigte Wärmeenergie

2.4.2 Steuerungs- und Regelungskonzepte (ifak)

Steuerung und Regelung in der VertiKKA erfolgen im Wesentlichen an folgenden Stellen: Bewässerungssteuerung (Zulauf von Grauwasser in das Pflanzensubstratmodul) und Öffnen/Schließen der PV-Elemente zum Schutz der Pflanzen bei ungünstigen Wetterverhältnissen.

Beide Stelleingriffe sind im VertiKKA-Simulator berücksichtigt. Bezüglich Bewässerung wurden die derzeit in den verschiedenen VertiKKA-Prototypen installierten Zeitsteuerungen im Modell nachgebildet. Das Öffnen/Schließen der PV-Elemente wird entsprechend der von den Partnern formulierten

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Umweltbedingungen (Windgeschwindigkeit, Temperatur, globale Horizontalstrahlung) im Modell umgesetzt und ausgewertet (u.a. Anzahl der Öffnungs-/Schließvorgänge, Dauer des geschlossenen Zustandes, jeweils über den Betrachtungszeitraum, z.B. ein Jahr).

2.4.3 Gesamtübersicht des Computersimulationsmodells (ifak)

Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen die Teilmodule des VertiKKA-Simulationsmodells und ihre Interaktionen.

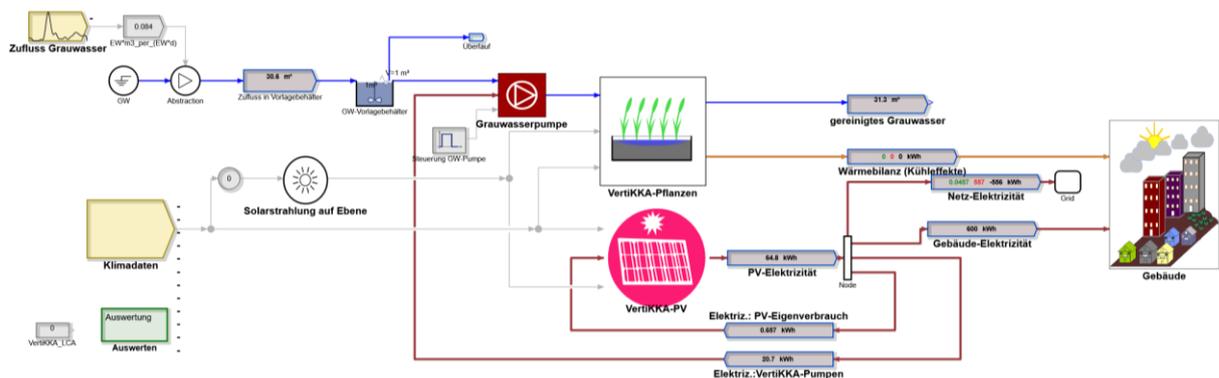


Abbildung 29: Teilmodule des VertiKKA-Simulationsmodells des VertiKKA-Simulators (ohne Wärmemodule)

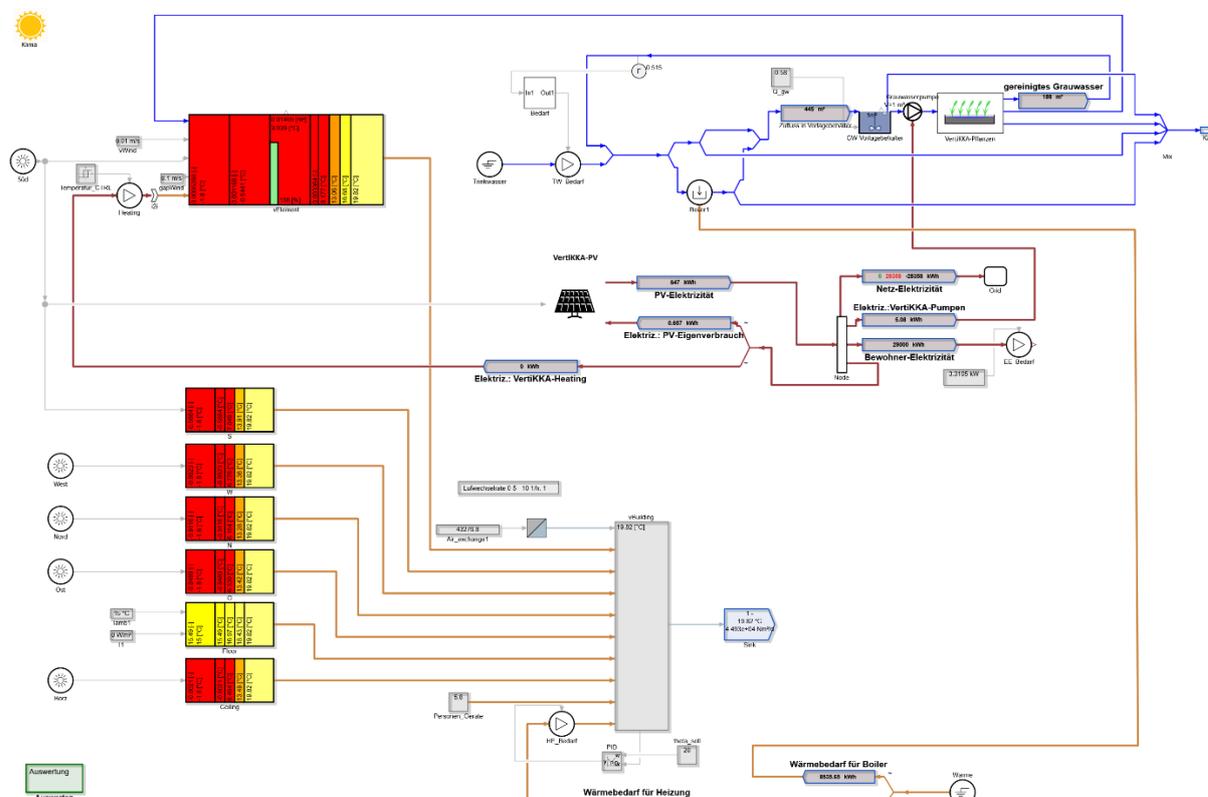


Abbildung 30: Gesamtübersicht des VertiKKA-Simulators (einschl. Wärmemodule)

2.4.4 Unterstützung einer Nachhaltigkeitsbewertung (ifak)

In die Simulationsmodule des VertiKKA-Simulators sind die für eine Nachhaltigkeitsbewertung nach ökonomischen Kriterien (Lebenszykluskosten aus Invest- und Betriebskosten unter Berücksichtigung der Lebensdauer der Aggregate) und nach ökologischen Kriterien Berechnungen integriert worden. Dies geschieht unter Verwendung und Anpassung der im Projekt SAMPSONS verwendeten Methodik (Schütze *et al.*, 2019)¹², um so im VertiKKA-Simulator zumindest eine überschlagsmäßige Nachhaltigkeitsbewertung im Rahmen einer Vorplanungsphase von VertiKKA-Anlagen zu ermöglichen. Als Grundlage für die implementierten Kosteninformationen dienen die vom Projektpartner IZES zur Verfügung gestellten Informationen. Spätere Datenaktualisierungen lassen sich durch entsprechende Modifikation von Eingabeparametern berücksichtigen. Eine detaillierte Ermittlung von Umweltindikatoren war nicht möglich, da bis Projektende keine ausreichende Information über quantifizierte Umweltindikatoren der VertiKKA-Anlage zur Verfügung stand. Das implementierte Konzept (in Abbildung 31 sind exemplarisch die Ergebnisausgabe u.a. für "Material1" und für "GHG" (Treibhausgasemissionen) als Kriterium dargestellt) erlaubt jedoch die Spezifikation von Materialien und Indikatoren sowie die Eingabe der für die

¹² Schütze, M.; Wriege-Bechtold, A.; Zinati, T.; Söbke, H.; Wißmann, I.; Schulz, M.; Vesper, S.; Londong, J.; Barjenbruch, M.; Alex, J. (2019): Simulation and Visualization of Material Flows in Sanitation Systems for Streamlined Sustainability Assessment; Wat. Sci. Tech. 79, 10, 1966-1976, <https://doi.org/10.2166/wst.2019.199>

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

entsprechenden Berechnungen erforderlichen Grundlegendaten. Die Parametrierung kann in flexibler Weise erfolgen, beispielsweise unterschiedliche Kostenfaktoren (EUR/kWh) für Stromverbrauch aus dem Netz und Einspeisung in das Netz.

Folgende Werte: hochgerechnet auf 1 Jahr:

CAPEX		Description	Value	Unit
VertiKKA_LCA		CAPEX insgesamt	8932.46	€
		CAPEX total	8932.46	€

CAPEX		Description	Value	Int: 0%	Lifetime [a]
VertiKKA_LCA		CAPEX insgesamt	446.623	€/a	20
		CAPEX total	446.623	€/a	

OPEX		Description	Value	Unit
Netz-Elektrizität		Stromkosten (Verbrauch - Einspeisevergütung)	160.626	€/a
VertiKKA_LCA		OPEX (ohne Elektrizität)	436.58	€/a
		OPEX total	597.206	€/a

Info		Description	Value	Unit
Elektriz.: PV-Eigenverbrauch		Elektrizität: Verbrauch (neg.: Ertrag)	0.656925	kWh/a
Elektriz.:VertiKKA-Pumpen		Elektrizität: Verbrauch (neg.: Ertrag)	0.65008	kWh/a
Gebäude-Elektrizität		Elektrizität: Verbrauch (neg.: Ertrag)	600	kWh/a
PV-Elektrizität		Elektrizität: Verbrauch (neg.: Ertrag)	-65.9229	kWh/a
		Info total	535.384	kWh/a

Material1		Description	Value	Unit
VertiKKA_LCA		Material1 für Bau	42	kg
		Material1 total	42	kg

Material1		Description	Value	Unit
VertiKKA_LCA		Material1 für Betrieb	42	kg/a
		Material1 total	42	kg/a

Folgende Werte: über simulierten Zeitraum:

Szenario 1: Mit VertiKKA		
GHG [aus Elektr.+Material1]	372.826	kg CO2-eq/a
Anzahl Öffnen/Schließen der PV	608	[-]
Dauer PV offen	143.9437234976	[d]
	5007	

Kostenbetrachtung:		
Investkosten	8932.46	€
Betriebskosten	597.21	€/a
* davon: Stromkosten (neg.: Ertrag)	160.63	€/a

Materialbedarf (Errichtung): Material1	42	kg
Materialbedarf (Betrieb): Material1	42	kg/a

Abbildung 31: Exemplarische Ausgabe der Nachhaltigkeitsbewertung (VertiKKA und Gebäude) des VertiKKA-Simulators

2.5 AP 5: Nachhaltigkeitsbewertung (IZES)

Für die ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung der VertiKKA wurden zunächst mögliche Zielgruppen, der Untersuchungsrahmen und die Systemgrenzen definiert; u. a. aufbauen auf den Ergebnissen des AP 1.3 wurden darüber hinaus für die einzelnen Säulen der Nachhaltigkeit relevante Bewertungsindikatoren identifiziert. Die Bewertungsindikatoren werden durch verschiedene Parameter beschrieben, die

quantifiziert werden können oder in Abstimmung mit Vertreter*innen der jeweiligen Zielgruppen partizipativ qualitativ beschrieben/eingeordnet werden.

Auf dieser Basis wurde ein umfassendes und innovatives Bewertungssystem erarbeitet, welches die drei Säulen der Nachhaltigkeit gleichwertig betrachtet und Aussagen zum Beitrag der VertiKKA zu einer nachhaltigen Entwicklung städtischer Quartiere erlaubt. Ferner zeigt die genannte Analyse konkrete Stärken und Schwächen der VertiKKA auf und ermöglicht somit u. a. auch die Identifikation von Optimierungspotenzialen.

Um die Nachhaltigkeitsbewertung der VertiKKA in den urbanen bzw. stadt-regionalen Kontext einzubetten, wurden die Sustainable Development Goals (SDGs) als Rahmen für die Entwicklung eines entsprechenden Indikatorensets herangezogen. Die Übertragbarkeit bestehender Unterziele und Indikatoren der SDGs für deutsche Kommunen auf die VertiKKA wurde geprüft; zum Teil wurden diese auf den Kontext des Vorhabens angepasst. Auch wurden verschiedene Handlungsebenen - vom Modul bis hin zur Gesamtstadt und zur globalen Ebene - betrachtet. Die entwickelte Methodik wurde im Journal „Sustainability“ veröffentlicht (Quellenangabe siehe Kapitel 7).

Nachfolgend wird näher auf die Entwicklung des allgemeingültigen Indikatorensets zur Bewertung des Beitrags städtischer Technologien/Infrastrukturen zur nachhaltigen Entwicklung aus Sicht der ökologischen, der ökonomischen und der sozialen Dimension eingegangen:

Zur Abbildung der ökologischen Effekte (u. a. Treibhausgas-, Eutrophierungs- oder Versauerungspotenzial) wurde auf die Methodik der Ökobilanzierung zurückgegriffen. Im Rahmen der Ökobilanz wird zunächst eine detaillierte Energie- und Massenbilanz (Sachbilanz) erstellt. Darauf aufbauend wird zur Ermittlung der Umweltauswirkungen die Bewertungsmethode ReCipe verwendet. Hierfür werden sowohl die direkten und indirekten Umweltbelastungen (Ressourcenbedarfe und Emissionen) als auch die Umweltentlastungen (Gutschriften hinsichtlich vermiedener Ressourcenbedarfe und eingesparter Emissionen) identifiziert. Dies mündete in einem Indikatorenset, mit dem die ökologischen Effekte der Technologie beschrieben werden können.

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung erfolgt anhand einer Lebenszykluskostenrechnung. Zur Bewertung der ökonomischen Dimension werden jedoch nicht nur die direkten monetären Effekte erfasst, sondern auch der öffentliche Nutzen der Technologie im Hinblick auf Gesundheit, Lebensqualität und -zufriedenheit, Stadtklima, Biodiversität etc. dargestellt. Hierzu wurden Methoden der Inwertsetzung der Ökosystemleistungen der Technologie entwickelt. Weitere Indikatoren (z. B. erwartete Investitionen, Beschäftigungseffekte, lokale/ regionale Wertschöpfung) wurden festgelegt, um die Wirkung der Technologie im Quartier und über die Stadtgrenzen hinaus abzubilden.

Die Nachhaltigkeitsbewertung aus Sicht der sozialen Dimension unterteilt sich in zwei Stränge und betrachtet 1.) die Wirkungen der Technologie auf die Stadtgesellschaft und 2.) den Technologieentwicklungsprozess sowie die Schaffung geeigneter Governanceprozesse zur Umsetzung der Technologie bzw. zu ihrer Weiterentwicklung. Die Indikatoren betreffen u. a. die Leistungen der Technologie für die Verbesserung der städtischen Infrastruktur und des Wohnumfelds sowie für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen, aber auch den gleichberechtigten Zugang aller sozialen Schichten zu dieser Technologielösung und die Beibehaltung der Stabilität der Nachbarschaften nach ihrer Umsetzung. Darüber hinaus werden der Technologieentwicklungsprozess und die Wirkungen der Technologie und des Vorhabens als Ganzes für soziale und politische Transformationsprozesse in die Bewertung einbezogen. So betrachtet die Nachhaltigkeitsbewertung die Teilhabe der Bürger*innen bei der

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Entwicklung der Technologie, den Beitrag der Technologie zur Umweltbildung in verschiedenen Kontexten sowie die Mitwirkung des Vorhabens und der Beteiligten bei der Förderung einer inklusiven und nachhaltigen Stadtentwicklung.

Die o. g. Indikatoren, welche die Effekte der Technologie umfassend beschreiben, wurden abschließend über eine Bewertungsmatrix den SDGs zugeordnet.

Im Anschluss an die Methodenentwicklung wurde mit der Datenerhebung für die Bewertung der VertiKKA begonnen. Diese erfolgte durch umfassende weiterführende Recherchen und durch die Einbindung der Technikpartner*innen (z. B. durch Fragebögen und Webkonferenzen). Mit Hilfe der Nachhaltigkeitsbewertung wurde die Bewertung einer finalen VertiKKA-Option vorgenommen (Darstellung und Vergleich der Wirkungen der einzelnen VertiKKA-Komponenten). Im Projektverlauf wurden die vorläufigen Ergebnisse mit den Projektpartner*innen diskutiert und so weitere Synergie- und Verbesserungspotenziale identifiziert, welche in der Folge bei der Planung der finalen/weiteren VertiKKA-Option(en) berücksichtigt wurden/werden.

Für die Erstellung der Ökobilanz wurden umfangreiche Datenrecherchen zu den Komponenten Photovoltaik und Fassadenbegrünung sowie zur Gebäudetechnik durchgeführt. Die erhobenen Daten wurden entsprechend aufbereitet und in die Sachbilanz eingearbeitet. Die Energie- und Massenbilanz (Sachbilanz/LCI) und darauf aufbauend die Ermittlung der Umweltauswirkungen (Wirkungsabschätzung/LCIA) erfolgte mittels der Ökobilanzierungssoftware Umberto LCA.

Die ökonomische Performance (Lebenszykluskosten und Investitionsanalyse) der VertiKKA wurde anhand der Zulieferungen der Technikpartner*innen sowie weiterführender Recherchen ermittelt. Die Ökosystemleistungen der VertiKKA wurden bestimmt und in Wert gesetzt. Wo es sinnvoll erschien, wurde eine monetäre Inwertsetzung vorgenommen, andere Ökosystemleistungen wurden quantitativ oder qualitativ beschrieben. Während der Projektlaufzeit wurden zwei Masterarbeiten, deren Erkenntnisse und Ergebnisse in die Nachhaltigkeitsbewertung eingeflossen sind, betreut und erfolgreich abgeschlossen:

- Rudolf Rohrbacher (2021): Inwertsetzung von Ökosystemdienstleistungen am Beispiel einer vertikalen Klima- & Kläranlage. Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld.
- Phillip Sieker (2021): Analyse der Eignung der Lebenszykluskostenrechnung für nachhaltige Investitionsentscheidungen anhand des VertiKKA-Projektes. Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld.

Da die VertiKKA-Lösung während der Forschungs- und Entwicklungsphase noch nicht umgesetzt wurde und pandemiebedingt nur eine stark eingeschränkte Beteiligung der Akteure und der Stadtgesellschaft stattgefunden hat, wurden für die Einschätzung der sozialen Nachhaltigkeitsperformance zunächst qualitative, ex-ante, subjektive und top-down entwickelte Indikatoren betrachtet und die möglichen Wirkungen durch die Forschungspartner*innen antizipiert. In der folgenden Umsetzungs- und Verstetigungsphase, in welcher die Umsetzung der VertiKKA im Rahmen eines Reallabors und vielfältige Beteiligungsformate für verschiedene Akteursgruppen vorgesehen sind, wird das Indikatorenset entsprechend überarbeitet und an den lokalen Kontext angepasst.

Nachfolgende Abbildung fasst die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung für die VertiKKA zusammen.

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Ökosystemleistungen

Stromerzeugung, Kühl- und Heizeffekt, Trink- und Abwasserersparnis, Schalldämmung, Kohlenstoffbindung:
ca. 140 € (Köln) und 220 € (Stuttgart) pro Modul und Jahr

Feinstaubbindung: neutralisiert ca. 1.700 Autokilometer pro Modul und Jahr

Positive Effekte auf **physische und mentale Gesundheit**
Senkung der Hitzestress-bedingten gesundheitlichen Probleme
Entlastung der **Abwasserkanäle**
Verschönerung des **Stadtbildes**
Erhöhung der **Naturverbundenheit** sowie des **Gemeinschafts- und Wohlfühls**
Förderung von **Biodiversität**

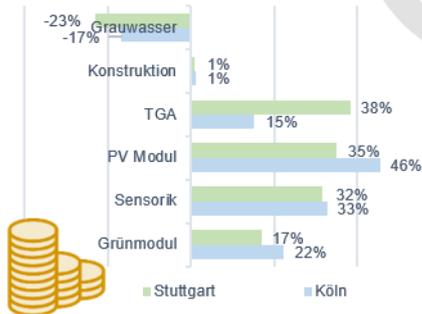


VertiKKA als Teil einer nachhaltigen und kreislauforientierten Stadtentwicklung

Kosten

Lebenszykluskosten pro Modul von 10.200 € (Köln) und 11.300 € (Stuttgart)
Annuität pro Modul von 620 € (Köln) und 690 € (Stuttgart)

Anteilige Kosten der einzelnen Komponenten:



- * hohe Entstehungskosten für PV-Modul durch Technik für Antrieb und Steuerung der beweglichen Module
- * hohe Kosten für Bauteilerneuerungen der Sensorik
- * geringe Erträge
- * großer Einfluss von Gemeinkosten: Skaleneffekte bei größeren VertiKKA-Flächen
- * bei kleineren VertiKKA-Flächen führt die Installation am Neubau zu einer deutlichen Kostenentlastung

Aktive Einbindung der Akteure und Bewohner

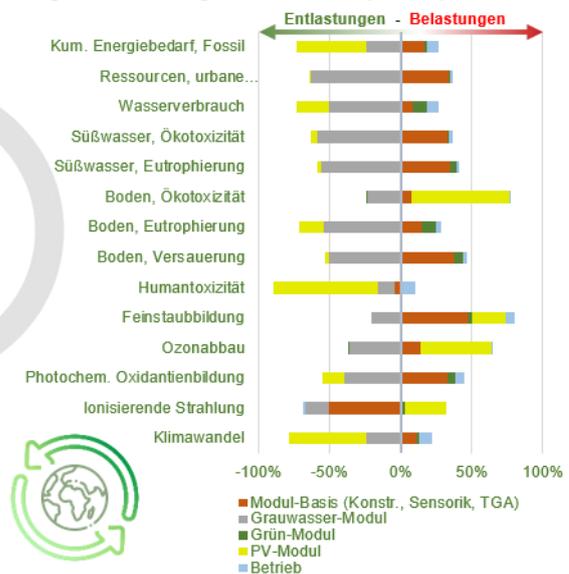
Potenzial zur Akzeptanzsteigerung grüner Technologien
Beitrag zur Umwelt- und Bewusstseinsbildung
Potenzial für die Anbahnung neuer lokaler bzw. regionaler Partnerschaften und Kooperationen



- * Saisonaler Bedarf an lokalen Dienstleistungen bzgl. Pflege und Wartung
- * Potenzial zur Schaffung „guter“ Arbeitsplätze in der Region wird eher neutral eingeschätzt

Umweltauswirkungen

Anteilige Umweltauswirkungen der einzelnen Komponenten pro Modul:



- * Positive Umweltauswirkungen auf lokaler bzw. regionaler Ebene
- * Produktionsprozesse verursachen den überwiegenden Anteil der negativen Umweltauswirkungen
- * Zu geringe Emissions-/Ressourcengutschriften aufgrund noch zu geringer Erträge bzw. Einsparungseffekte

Verringerung der **Vulnerabilität** gegenüber äußeren Einflüssen und Beitrag zur **regionalen Unabhängigkeit** (v. a. Wasser- u. Energieversorgung, Klimaregulierung, Gesundheitsvorsorge)

Icons: FlatIcon.com

Abbildung 32: Zusammenfassung der relevanten Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung (IZES).

Aufgrund der eher qualitativen Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung aus Sicht der sozialen Dimension werden die antizipierten Ergebnisse nachfolgend kurz zusammengefasst:

Für die Wirkkategorien und Indikatoren, die unmittelbar mit der Umsetzung der Technologie an einem bestimmten Standort zusammenhängen, z. B. im Hinblick auf die Verbesserung der Lebenszufriedenheit oder die Stabilität der Nachbarschaft, konnten für die Forschungs- und Entwicklungsphase keine Aussagen getroffen werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die VertiKKA - so wie sie konzipiert ist - einen Beitrag zur menschlichen Gesundheit am Umsetzungsort leisten kann. Dem gegenüber steht jedoch eine nicht unerhebliche Menge an Feinstaub, der an den Produktionsstandorten erzeugt wird. Unter aktuellen Bedingungen kann der Zugang aller sozialen Gruppen zur VertiKKA-Technologie nicht sichergestellt werden, da die Kosten für die Installation sowie für die Unterhaltung der VertiKKA enorm sind. Auch das Potenzial zur Schaffung „guter“ Arbeitsplätze in der Region wird gegenwärtig als eher neutral eingeschätzt.

Große Potenziale für die Beteiligung der Stadtgesellschaft am Technologieentwicklungsprozess sowie für die Umwelt- und Bewusstseinsbildung verschiedener Zielgruppen und für die Änderung von Konsummustern ergeben sich insbesondere in der Umsetzungs- und Verstetigungsphase. Es wird davon ausgegangen, dass die damit verbundenen Aktivitäten insgesamt zur Steigerung der Akzeptanz neuer, grüner Technologien in der Gesellschaft führen.

Die Tätigkeiten zur Umsetzung der VertiKKA werden darüber hinaus insbesondere die Kommunen dabei unterstützen, auch vergleichbare Technologien, in ihre Planungs- und Umsetzungsprozesse zu integrieren und lokale bzw. regionale Partnerschaften und Kooperationen mit Akteuren der Privatwirtschaft und der Zivilgesellschaft aufzubauen.

Die Publikation der Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung der VertiKKA wird nach Projektende erfolgen.

2.6 AP 6: Kommunales Transformationsmanagement (IZES)

Im Rahmen der Tätigkeiten für AP 6.1 wurden vorhandene Planungsinstrumente der Stadt Köln sowie Ziele und Aktivitäten bestehender Initiativen in der Region, in der Gesamtstadt und in einzelnen Veedeln, die für die Entwicklung und Umsetzung der VertiKKA von Relevanz sind, ausgewertet. Inhaltliche Schwerpunkte bildeten u. a. die Themen Klimaanpassung durch grüne und blaue Infrastrukturen sowie Klimaschutz in der Stadt, das Management von Starkregen, Grauwasser und Niederschlagswasser im urbanen Raum, die Reduktion des Hitzeinseleffekts sowie die Erzeugung von PV-Strom. Um den Überblick zu erleichtern, wurden die identifizierten Planungsinstrumente und Initiativen hinsichtlich ihres Charakters (regulativ, persuasiv, finanziell, strukturierend) unterschieden. Die ausgewerteten Dokumente wurden mehrheitlich mittels Internetrecherche beschafft; einige Dokumente wurden durch die Stadt Köln zur Verfügung gestellt. Neben offiziellen Dokumenten wurden für die Recherchen auch Webseiten zivilgesellschaftlicher Initiativen herangezogen. Die Ergebnisse wurden in einem Arbeitspapier zusammengefasst und allen Forschungspartner*innen zur Verfügung gestellt.

Zur Sicherung der Genehmigungsfähigkeit der VertiKKA legte AP 6.2 den Schwerpunkt auf die Auswertung relevanter Rechtstexte (z. B. Gesetze, Vorgaben, Satzungen) für verschiedene Themenkomplexe (z. B. verbindliche Bauleitplanung, Hochbau, Statik und Brandschutz, Konstruktion von PV-Fassaden, Konstruktion von grünen Fassaden, Behandlung von Grau- und Niederschlagswasser im urbanen Raum). Die Ergebnisse der Auswertung wurden ebenfalls in einem Arbeitspapier zusammengefasst.

Da es sich bei der VertiKKA um eine innovative Technologieoption handelt, sind noch nicht alle rechtlich relevanten Aspekte vollständig geklärt. Aus diesem Grund wurde der direkte Kontakt zu Genehmigungsbehörden der Stadt Köln gesucht, um verschiedene genehmigungsrechtliche Fragestellungen im Zusammenhang mit der VertiKKA zu diskutieren. Da sich die Organisation von persönlichen Expert*innengesprächen vor Ort pandemiebedingt als schwierig herausstellte, wurde in enger Kooperation mit den Technikpartner*innen eine Kurzdarstellung zur Konzeption der VertiKKA erstellt. Mit Unterstützung der lokalen Partner (Stadt Köln, StEB Köln) wurde diese Kurzdarstellung an geeignete Kontaktpersonen in verschiedenen Behörden mit der Bitte um Prüfung und Stellungnahme übergeben.

Genehmigungsrechtliche Aspekte im Hinblick auf die Planung und Umsetzung der VertiKKA in Bestands- und Neubaugebieten wurden im Rahmen eines Onlinemeetings mit zwei Vertretern des Stadtplanungsamts Köln besprochen. Zunächst wurden mögliche Hindernisse für die Genehmigung der Technologielösung, insbesondere im Bestand, identifiziert und mögliche Lösungen diskutiert. Insgesamt schätzten die Vertreter des Stadtplanungsamts Köln die VertiKKA als sinnvolle Technologie zur Unterstützung der Klimafolgenanpassung im urbanen Raum ein und regten die Entwicklung der VertiKKA für verschiedene Anwendungsfälle an (Bestand, Neubau, verschiedene Siedlungs- und Gebäudetypologien). Um mögliche genehmigungsrechtliche Hürden in Neubauvorhaben zu umgehen, ist es aus Sicht der Experten notwendig, die Behörden von Beginn an in den Planungsprozess einzubinden. Die Aufstellung eines vorhabenbezogenen Bebauungsplans [§12 BauGB] integriert die Prüfung der Umweltbelange und die Einbindung der Feuerwehr (Brandschutzaspekte) und erlaubt somit eine angepasste, genehmigungsrechtlich abgesicherte Planung und Umsetzung der VertiKKA. Das Nachrüsten einer VertiKKA in Bestandsgebieten, für die bereits ein Bebauungsplan besteht, stellt insbesondere in dicht bebauten urbanen Zentren eine Herausforderung dar, da in diesen Gebieten schon aus Sicht der Bauleitplanung und des Brandschutzes hohe Hürden bestehen.

IZES betreute zwei Masterarbeiten, die die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Themenfelder 1) Grauwasserbehandlung und 2) Installation von PV-Fassaden im urbanen Raum und entsprechende Gestaltungsmöglichkeiten erarbeiteten:

- Vu Tran Le (2021): Ermittlung genehmigungsrechtlicher Anforderungen und Gestaltungsmöglichkeiten von Photovoltaik-Fassaden im urbanen Raum. Ruhr Universität Bochum
- Anna Ida Holler (2021): Ermittlung genehmigungsrechtlicher Anforderungen und Gestaltungsmöglichkeiten der Grauwasserbehandlung im urbanen Raum. Hochschule RheinMain

Im Rahmen der Bearbeitung der Masterarbeiten wurden ebenfalls eine Reihe von Expert*inneninterviews geführt. Aus diesen Interviews geht hervor, dass sowohl die Installation von PV-Fassadenlösungen als auch von Anlagen zur Behandlung von Grauwasser im urbanen Raum verschiedene Rechtsbereiche berühren und bisher nicht eindeutig geregelt sind. Die Genehmigungsfähigkeit der Anlagen bzw. ihrer Komponenten hängt von verschiedenen Standortfaktoren und von der Einschätzung der Genehmigungsbehörden sowie von der konkreten Ausgestaltung der Anlagen ab.

Zur Vorbereitung des Akteursmanagements wurden relevante Akteure (öffentlich, privat, zivilgesellschaftlich) und ihre möglichen Rollen und Interessen identifiziert. Dazu gehören Fach- und Genehmigungsbehörden der Stadt Köln, politische (Entscheidungs-)Gremien, kommunale Betriebe, Akteure der Privatwirtschaft und der Zivilgesellschaft. Die wesentlichen Erkenntnisse und Methoden aus der Akteursanalyse sind u. a. auch in den Erarbeitungsprozess der DIN SPEC 91468 „Leitfaden für ressourceneffiziente Stadtquartiere“ eingeflossen.

Während der Projektlaufzeit wurden mögliche Optionen für die Finanzierung und den Betrieb einer VertiKKA identifiziert sowie Besonderheiten für die einzelnen Technikkomponenten beleuchtet. Die verschiedenen Optionen wurden in Abstimmung mit den Projektpartner*innen und lokalen Akteuren kritisch diskutiert und in der Folge konkretisiert. Nutzen, Anforderungen, Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten im Hinblick auf potentielle Betreiber*innen und Betreiber*innengemeinschaften wurden unter Berücksichtigung des Entwicklungsstands der VertiKKA und unter Vorbehalt möglicher Einschränkungen durch Genehmigungsbehörden dargestellt und verglichen. Die Ergebnisse wurden in einem Bericht zusammengefasst, der u. a. auch in den Umsetzungsplan der VertiKKA einfließt.

Als eine mögliche Option, wie das gesamte Leistungspaket rund um die VertiKKA abgedeckt und flexibel mit verschiedenen Betreiber*innen/Akteuren zusammengearbeitet werden könnte, wurde ein mögliches Unternehmen – die „VertiKKA GmbH“ – konzipiert (vgl. nachfolgende Abbildung).

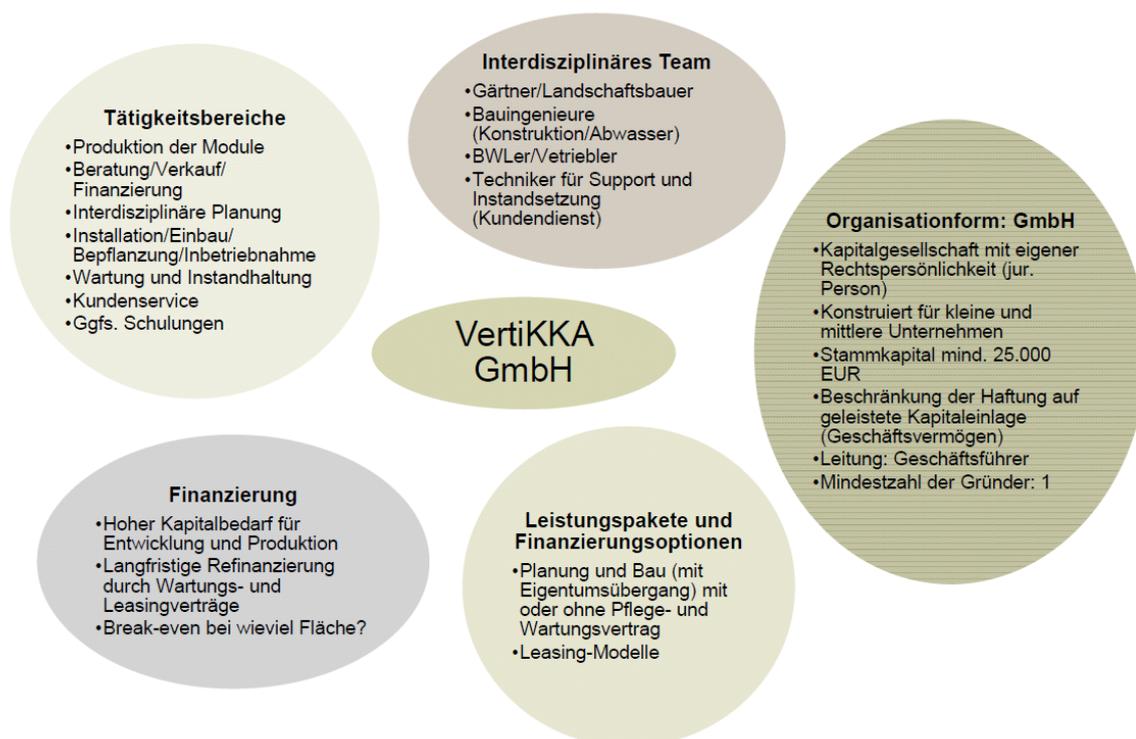


Abbildung 33: Die VertiKKA GmbH als mögliche Organisationsform für das Angebot rund um die VertiKKA

2.7 AP 7: Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikationskonzept (StEB und Stadt Köln)

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit gab es einerseits insgesamt Informationen über das Projekt „VertiKKA“, die von allen Projektpartnern im Rahmen verbreitet wurde, z.B. im Rahmen von Veröffentlichungen, Vorträgen/Veranstaltungen oder in Zusammenhang mit der Lehre an den Universitäten. Darüber hinaus wurde eine Webseite aufgebaut (www.vertikka.de), die eine anschauliche Darstellung des Projektes enthält (auch auf Englisch verfügbar) sowie Kontaktmöglichkeiten zur Projektleitung. Zudem wurde ein Newsletter für Interessierte eingerichtet.

Ein wesentlicher Aspekt des VertiKKA-Projektes war darüber hinaus die zielgerichtete Kommunikation mit verschiedenen Akteuren der Gesellschaft. Der besonderen Bedeutung Rechnung tragend, wurde ein Kommunikationskonzept für das VertiKKA-Projekt durch die StEB Köln entwickelt. Das Kommunikationskonzept soll vor allem zum Thema grüne Fassaden und Anpassung an den Klimawandel aufklären, Lust und Neugierde auf neue Technologien wecken und wertvolle Impulse zur Weiterentwicklung der VertiKKA zusammentragen.

Zentrale Funktion des Kommunikationskonzeptes war die Bekanntmachung der VertiKKA in der Bürgerschaft der Stadt Köln (insbesondere in Ehrenfeld), bei der Stadtverwaltung und den Städtischen

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Entwässerungsbetrieben Köln (StEB Köln), bei nationalen und internationalen Institutionen und der Wissenschaft. Die zentralen Zielsetzungen sind in folgenden Kernthesen zusammengefasst:

- Die Umsetzung des Kommunikationskonzeptes sorgt durch einen intensiven Austausch mit der Bevölkerung dafür, dass die Bewusstseinsbildung über die Bedeutung von Grünflächen im Allgemeinen und grünen Fassaden im Speziellen für urbane Räume gefördert wird. Dabei werden kommunikative Schwerpunkte auf die Anpassung an den Klimawandel, lokalen Starkregen, das Stadtklima und urbane Biodiversität gelegt
- Am Ende der Projektphase sind verschiedene Zielgruppen über die VertiKKA umfänglich informiert. Durch die Bereitstellung zielgruppenspezifischer Informationsmaterialien wird die Bereitschaft zur Installation grüner Fassaden/VertiKKA positiv beeinflusst.
- Insgesamt steigert die Kommunikation mit der Bürgerschaft die Akzeptanz grüner Fassaden und Vorurteile zur Fassadenbegrünung werden nachhaltig abgebaut. Auf wissenschaftlichen und nachvollziehbaren Studien basierendes Wissen wird verbreitet.
- Die Ausgestaltung und Genehmigungsfähigkeit der VertiKKA wird durch die Integration von Fachleuten aus der Verwaltung verbessert und vereinfacht.

Das Kommunikationskonzept adressiert unterschiedliche Zielgruppen. Dabei kann die Zielsetzung der individuell entwickelten Maßnahmen je nach Akteursgruppe variieren. Die Zielgruppen stellen sich wie folgt dar:

- Bürgerschaft der Stadt Köln
- Stadt Köln und StEB Köln
- Wohnungsbau- und Wohnungsverwaltungsgesellschaften
- Zivilgesellschaftliche Organisationen
- Verbände
- Wissenschaft

Als Maßnahmen wurden insbesondere verschiedene Aktionen zur Bürgerpartizipation festgelegt, deren Durchführbarkeit durch die seit März 2020 andauernde Corona-Pandemie deutlich erschwert wurden. Maßnahmen des Konzeptes mit einem direkten Bürgerkontakt konnten nicht umgesetzt werden. Aus diesem Grund wurde durch die StEB Köln ein Übergangskommunikationskonzept erstellt. Im Rahmen dieser Konzeption wurden Maßnahmen entwickelt, deren Umsetzbarkeit trotz Pandemie gegeben war. Die Maßnahmen wurden aufgelistet und mit einem Zeitplan versehen. Weitere Parameter, wie die Zielsetzung und Analyse der Akteure blieben identisch zur ursprünglichen Ausrichtung des Kommunikationskonzeptes.

Allgemeine Maßnahmen

- Aufnahme der VertiKKA als SmartCity Cologne Projekt: www.smartcity-cologne.de
- Aufbau der Website www.vertikka.de mit anschaulicher Darstellung des Projektes, auch abrufbar in englischer Sprache und Kontaktmöglichkeiten zur Projektleitung
- Aufbau und Pflege eines Newsletters für Interessierte
- Digitale Veranstaltung zu den Ergebnissen des VertiKKA-Projektes

Projektträger Jülich

Enderbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- Unterstützung der soziologischen Umfrage
- Anfertigung eines Transferdokumentes zur Verstetigung der Maßnahmen und Ergebnisse

Konkrete Maßnahmen nach Zielgruppe

Die Maßnahmen wurden auf die jeweiligen Zielgruppen abgestimmt. Im Einzelnen ergaben sich daraus folgende konkrete Aktivitäten.

Zielgruppe Bürgerschaft:

- Presseerklärung der Stadt Köln
- Begehung des Untersuchungsraums in Ehrenfeld im Rahmen eines Projekttreffens in Köln
- Bewerbung der Website über soziale Medien der StEB Köln und der Stadt Köln
- Erstellung eines Animationsfilms über VertiKKA innerhalb einer StEB-Filmreihe zur wasserwirtschaftlichen Anpassung an den Klimawandel (<https://vimeo.com/686722042/875d5a6cd3>)



Abbildung 34: Screenshots aus dem Erklärfilm VertiKKA (Copyright StEB)

- Digitale Werbung auch über verschiedenen Webseiten aus der Stadtgesellschaft wie z.B. des Colabors Köln.
- Vorträge bei der Köln-Persischen Vereinigung Köln.
- Information der Bürgerschaft im Rahmen des I-Resilience Projektes der Stadt Köln und StEB Köln.

Zielgruppe Verwaltung & Experten

- Vortrag bei „Region Köln-Bonn“
- Verfassen regelmäßiger Blogeinträge im internen Themenbereich „Wasserwirtschaftliche Klimafolgenanpassung“ der StEB Köln
- Einbringung der VertiKKA in das „Strategiekonzept zur wasserwirtschaftlichen Anpassung an den Klimawandel der StEB Köln“
- Information von verschiedenen Arbeitskreisen der Stadt Köln und StEB Köln (z.B. Anpassung an den Klimawandel), Städtische Wohnungsbaugesellschaft (GAG) und Moderne Stadt (Städtebau)
- Vortrag vor dem Verband Kommunaler Unternehmen (VKU)

Zielgruppe Wissenschaft & Bildung:

- Betreuung von vier Master- und Facharbeiten und Unterstützung von weiteren Arbeiten und Forschungsvorhaben durch Interviews und Beratung

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- Erstellung eines Dokumentes zum Thema „Klimawissen“ für Lehrkräfte. Das Dokument soll Lehrkräften gesammelt Wissen zur Verfügung stellen. Abgerundet wird das Dokument durch Informationen zu bestehen Bildungskonzepten, einem Escape Game und den Filmen der StEB Köln.
- Vortrag auf dem MINT-Festival Cologne
- Vortrag an der Universität zu Köln im Rahmen des International Master of Environmental Sciences (IMES)

Maßnahmen nach Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsphase:

- Digitale Werbung über die erstellten Filme.
- Bewerbung der VertiKKA durch Vorträge und Veranstaltungen nach Beendigung der Pandemie bedingten Einstellung von Präsenzveranstaltungen.
- Teilnahme an der SmartCity Cologne Ausstellung

Fazit

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden ausschließlich an den Forschungsstandorten Nürtingen, Weimar und Magdeburg Versuchsanlagen aufgebaut. Daher musste bei der Information der Akteure auf die oben genannten Informationsmittel zurückgegriffen werden. Konkrete Darstellungen/Ergebnisse (z.B. Modul-Zeichnungen/Animationen, Daten zum Nutzen oder Kosten), die für die Kommunikationsarbeit genutzt werden konnten, lagen erst zu Projektende vor. Zudem stehen die technischen Daten unter dem Vorbehalt der Überprüfung in der Praxis. Somit war die VertiKKA zum Zeitpunkt der ersten Projektphase für Stadtplaner oder Architekten nur bedingt von Interesse, da ein unmittelbarer Einsatz oder eine Abschätzung des damit verbundenen Aufwands nicht möglich war. Diese Informationen werden verstärkt in der Verstetigungsphase erhoben und können anschließend für die Kommunikation mit diesen Akteuren genutzt werden.

Als positive Erfahrung aus dem Bereich Kommunikation kann die Nutzung digitaler Medien angesehen werden, deren Einsatz insbesondere durch die Corona-Pandemie notwendig wurden. Es zeigt sich, dass virtuelle Veranstaltungen ein niedrigschwelliges Angebot darstellen können, um Menschen aus unterschiedlichen Teilen Deutschlands zeitsparend zusammenzuführen. Einschränkend ist festzustellen, dass digitale Plattformen einen persönlichen Austausch nur bedingt ersetzen können. Eine ausgewogene Mischung aus Präsenzveranstaltungen und virtuellen Angeboten stellt sich am erfolgversprechendsten dar.

2.8 AP 8: Ergebnisanalyse und Umsetzungsplan (IZES)

Auf Grundlage der Ergebnisse des AP 6.1 (Stadtplanung), des AP 6.2 (Rechtlicher Rahmen), des AP 6.4 (Finanzierung und Betreibermodelle) und des AP 5 (Nachhaltigkeitsbewertung) sowie der Expert*innengespräche wurden Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung der Technologie und für ihre Umsetzung abgeleitet. Der Umsetzungsplan wurde bereits auf die konkreten Rahmenbedingungen der folgenden Umsetzungs- und Verstetigungsphase zugeschnitten.

Der Umsetzungsplan enthält eine Auflistung der Stärken und Schwächen, Chancen und Risiken (SWOT) für die Umsetzung der VertiKKA in der Umsetzungs- und Verstetigungsphase, eine Auflistung

der Akteure, welche von Beginn an in den Planungs- und Umsetzungsprozess einbezogen werden müssen und zielgruppenspezifische Beteiligungsformate sowie einen Zeitplan.

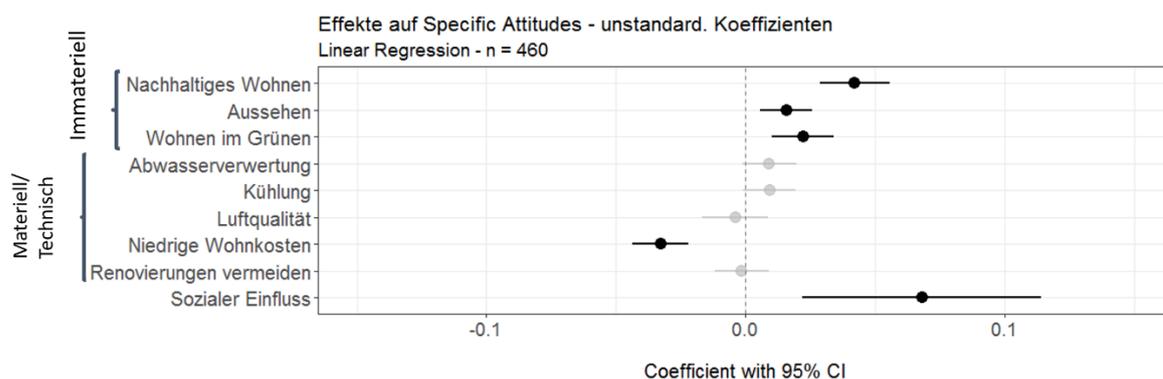
2.9 Q1: Soziologische Aspekte: Akzeptanz, Partizipation und Lebensqualität (TUC)

1. Allgemeines und Datenerhebung

- Ziel: Untersuchung von Akzeptanz von ökologisch-technischen Innovationen der Stadteilbewohner*innen
- Kontext: Technik- und umweltbezogene Einstellungen, Determinanten der Wahrnehmungen. Dabei sollen "Stellschrauben" identifiziert werden, die die soziale Akzeptanz begrünter Fassaden beeinflussen können
- Vorhaben: zwei Erhebungen im Abstand von einem Jahr im Stadtteil Ehrenfeld und Nippes durchgeführt (2020, n=517; 2021, n=203)
- Erhebungsmodi: schriftlich, online, schriftlich mit Möglichkeit zu online zu wechseln (push2web)

2. Empirische Ergebnisse

2.1 Querschnittsmodelle Welle 1 (n=454)



statistisch signifikante Effekte ($p < 0,05$): **schwarze** Punkte (mit 95% Konfidenzintervall)
statistisch nicht-signifikante Effekte ($p > 0,05$): **graue** Punkte (mit 95% Konfidenzintervall)

Abbildung 35: Subjektiver Erwartungsnutzen und Akzeptanz.

In einem ersten Erklärungsmodell wurde die Akzeptanz der Vertikka (hier: *Specific Attitudes*) auf die verschiedenen Aspekte des subjektiven Erwartungsnutzen regressiert. Betrachtet man Abbildung 35 lässt sich erkennen, dass nur 5 Faktoren einen Effekt zeigen, welcher sich auch auf einem statistisch relevanten Niveau befindet. **Steigt** der subjektive Erwartungsnutzen von **nachhaltigem Wohnen**, der **Ästhetik** des Wohngebäudes, das Gefühl „**im Grünen zu wohnen**“, so **erhöht** sich die allgemeine **Akzeptanz** der VertiKka. **Steigt** der subjektive Erwartungsnutzen von **niedrigen Wohnkosten**, **sinkt**

die **Akzeptanz** von VertiKKA. Zusätzlich wurde noch getestet, inwiefern die Einstellungsformation durch das **soziale Umfeld** beeinflusst wird. Hier konnte **ein signifikant positiver Effekt** gemessen werden. **Nicht signifikante** Effekte wurden gefunden für die **Abwasserverwertung, Kühlung, Luftqualität** und Vermeidung von **Renovierungen**.



Abbildung 36: Gesamterklärungsmodell im Querschnitt für Welle 1 (2020).

Modelgüte: CFI = 0,931 / RMSEA = 0,037 / SRMR = 0,055

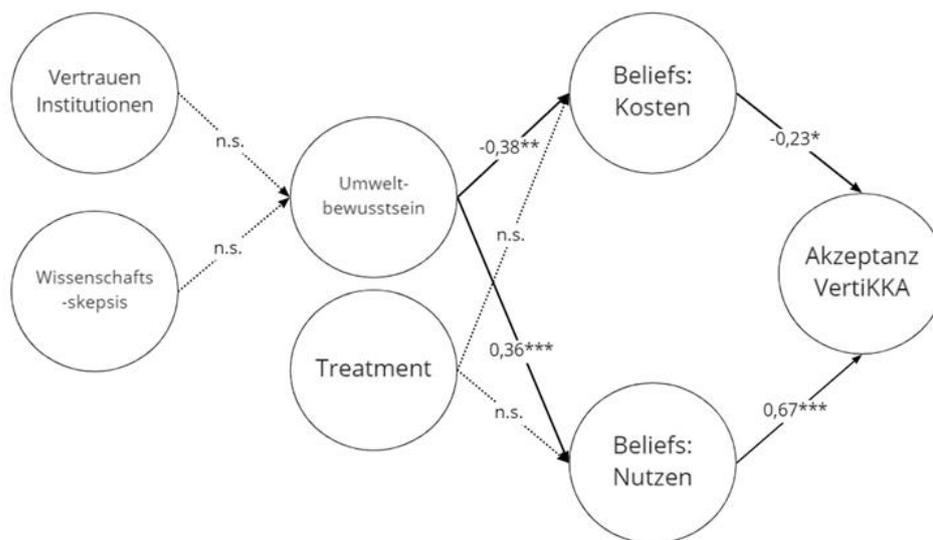
- **Kosten Beliefs:** Reparaturkosten, Mietkosten; **Nutzen Beliefs:** Luftqualität, Stoffverwertung, Leben im Grünen, nachhaltiges Wohnen
- **Kosten und Nutzen Beliefs** haben **signifikanten** Effekte auf die Akzeptanz von VertiKKA. Je **größer** der **Nutzen** der Technologie eingeschätzt wird, desto **größer** die **Akzeptanz**, je **größer** die **Kosten** eingeschätzt werden, desto **geringer** die Akzeptanz; wahrgenommener Nutzen hat einen stärkeren Einfluss als die Kosten
- **Nutzen Beliefs** wiederum werden **beeinflusst** von den allgemeinen **Umwelteinstellungen**, der allgemeinen **Technikakzeptanz**, sozialen **Normen** und **prosozialen** Einstellungen; die **Kosten**

Beliefs werden beeinflusst von den allgemeinen **Umwelteinstellungen**, den Wahrnehmungen **globaler Umweltprobleme** und der **Technikakzeptanz**

Verwertbarkeit und Nutzen

- Um die Akzeptanz in der Bevölkerung zu erhöhen ist der Fokus auf Umweltaspekte, sowie auf (v.a. immaterielle Aspekte wie *nachhaltiges Leben, Wohnen im Grünen*) Nutzenaspekte zu setzen
- Prosoziale und technische Eigenschaften können für eine Kampagne dezente Ergänzungen darstellen, sollten jedoch nicht die Inhalte dominieren
- Auf das Ansprechen von Defiziten (im Sinne der Wohnzufriedenheiten) sollte verzichtet werden
- Um Umweltbewusstsein (bzw. allgemeine Umwelteinstellungen) zu stärken, kann das Aufmerksam machen auf globale Umweltprobleme (Globale Erwärmung, Waldsterben etc.) hilfreich sein

2.2 Querschnittsmodell Welle 2 (n=4)



standardisierte Koeffizienten, *** Signifikanzlevel $p < 0.000$, alle Effekte kontrolliert auf Alter und Geschlecht

Abbildung 37: Gesamterklärungsmodell im Querschnitt für Welle 2 (2021).

Modellgüte: CFI = 0,95 / RMSEA = 0,044 / SRMR = 0,061

In diesem Modell wurden die Effekte der neuen hinzugefügten Konstrukte (Wissenschaftsskepsis und Vertrauen in Organisationen), sowie des Informationstreatments auf das Akzeptanzmodell in Welle 2 getestet.

Signifikante Effekte für die Vertikka Akzeptanz sind **Kosten-Beliefs** ($b^* = -0.23$) und **Nutzen-Beliefs** ($b^* = 0.67$). Höheres **Umweltbewusstsein** ist assoziiert mit **höheren Levels in Nutzen-Beliefs** ($b^* = 0.36$) und **niedrigeren Levels in Kosten-Beliefs**.

Es konnten **keine signifikanten** Effekte von **Wissenschaftsskepsis, Vertrauen in Institutionen und dem Informationstreatment** auf das Modell festgestellt werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass für die Nutzenwahrnehmung der VertiKKA und der Akzeptanz der VertiKKA, Einstellungen gegenüber der Wissenschaft oder öffentlicher/politischer Institutionen irrelevant sind.

Verwertbarkeit und Nutzen

- Informationstreatments (Broschüren, Videomaterial, Werbung), die sich stark auf technische Aspekte beziehen haben keinen Einfluss auf die Nutzenwahrnehmung oder Akzeptanz
- Kampagnen können auf Aspekte bzgl. des allgemeinen Vertrauens in die Wissenschaft und öffentlichen Institutionen weitestgehend verzichten.

2.3 Clusteranalyse Welle 1 (n=454)

- Clustern nach kmeans: Partitionierung eines Datensatzes nach k Gruppen (mittels Minimierung der Summe der quadrierten Abweichungen von den Cluster-Schwerpunkten)
- **Ziel:** Personen **innerhalb** desselben **Clusters** sollten **so ähnlich wie möglich** und Personen aus verschiedenen Clustern so verschieden wie möglich sein → Bilden von verschiedenen Akzeptanzgruppen/Zielgruppen für VertiKKA
- verwendete Merkmale: Wertorientierungen + Technikakzeptanz + Umweltbewusstsein + Akzeptanz für VertiKKA
- Ergebnis:
 - Cluster 1: Typ "**GRETA**" - kapitalismuskritisch, ökologisch (sehr umweltbewusst, naturverbunden, prosozial, universalistisch, wenig leistungsorientiert, etwas älter (\bar{X} = 47.4), 65% weiblich) → **hohe Akzeptanz für VertiKKA**
 - Cluster 2: Typ "**ELON MUSK**" - liberal, zukunfts- & leistungsorientiert, ganzheitlich (sehr konservativ, leistungsorientiert, universalistisch, sehr offen, etwas jünger (\bar{X} = 41.6), 53% weiblich) → **hohe Akzeptanz für VertiKKA**
 - Cluster 3: Typ "**STILLE MITTE**" - (leistungsorientiert, weniger umweltbewusst und naturverbunden, weniger universalistisch, konservativ, Durchschnittsalter \bar{X} =45.1, 43% weiblich) → **niedrige Akzeptanz für VertiKKA**

Verwertbarkeit und Nutzen

- Zielgruppen für Kampagnen können sich an den zwei Typen mit hoher VertiKKA Akzeptanz orientieren:
 - etwas älter (\bar{X} = 47.4 Jahre), weiblich, umweltbewusst, kritisch-alternativ
 - etwas jünger (\bar{X} = 41.6), "ganzheitlich" (konservativ, offen, Zukunft- und leistungsorientiert)

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

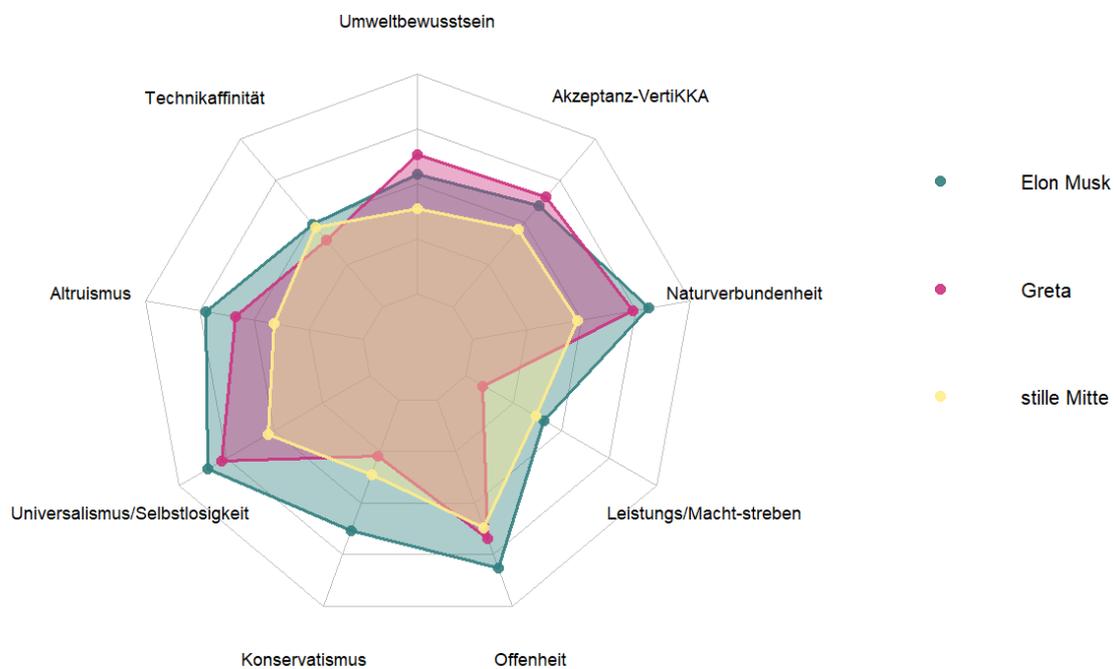


Abbildung 38: Ergebnis der Clusteranalyse aus Welle 1 (2020)

2.4 Längsschnittmodell Welle 1 + Welle 2

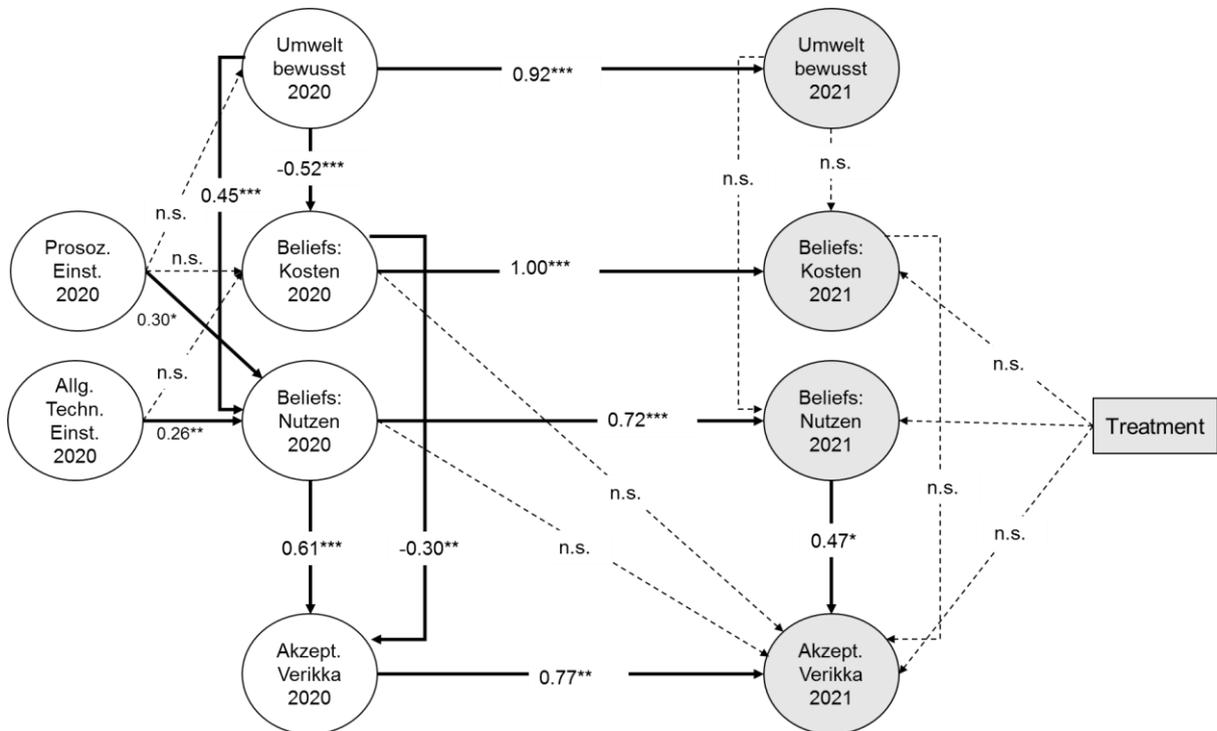


Abbildung 39: Erklärungsmodell im Längsschnitt (2020-2021)

Modellgüte: CFI = 0,939 / RMSEA = 0,046 / SRMR = 0,054

a) Vorteile der Längsschnittanalyse vs. Querschnittsanalyse

- durch die Kontrolle auf „vergangene“ Werte eines Konstrukts (z.B. Akzeptanz) wird auf Gewohnheiten/Habits/Stabilitäten kontrolliert
- Zusammenhänge mit anderen unabhängigen Variablen werden somit einen stärkeren „Kausalitätstest“ unterzogen
- Für das Jahr 2021 kann hier festgestellt werden: Was kann Veränderungen gegenüber 2020 erklären?

b) Ergebnisse

- Modellgüte ist befriedigend. Nur CFI unter dem Schwellenwert von 0,95
- Erster Erhebungszeitpunkt (2020):
 - **Kosten Beliefs** werden nur von Umweltbewusstsein beeinflusst: je höher das Umweltbewusstsein, desto niedriger ist der wahrgenommene Erwartungsnutzen von Kostenaspekten der VertiKKA. Prosoziale und Technischeinstellungen haben keinen Einfluss
 - **Nutzen Beliefs** werden sowohl von Umweltbewusstsein, Technischeinstellungen und Prosozialen Einstellungen beeinflusst: je höher das jeweilige Konstrukt, desto höher der wahrgenommene Erwartungsnutzen von Nutzenaspekten der VertiKKA.
 - **Nutzen Beliefs** und **Kosten Beliefs** erhöhen die Akzeptanz von VertiKKA

- Es gibt **keine direkten** Effekte von Umwelteinstellungen, Prosozialen Einstellungen und Technikeinstellungen auf die VertiKKA Akzeptanz. D.h. Beliefs sind **totale Mediatoren** dieser Aspekte
- Zweiter Erhebungszeitpunkt (2020)
 - Während zum **ersten** Erhebungszeitpunkt (2020) **Kosten-Beliefs und Nutzen-Beliefs** maßgeblich für die VertiKKA Akzeptanz sind, ist im Jahr **2021 nur** noch der **Nutzenaspekt** signifikant → der **Nutzen** hat einen **größeren Einfluss** als der Kostenaspekt der Technologie
 - alle Einstellungsvariablen haben signifikant positive autoregressive Effekte → **Stabilität der Einstellungen** über die Zeit (Umwelteinstellungen, Erwartungsnutzen)
 - **Akzeptanz** gegenüber VertiKKA zeigt etwas **mehr Volatilität**
 - Auch im Längsschnitt hat **Informationstreatment keinen Einfluss** auf Akzeptanz oder andere Einstellungen
 - Keine weiteren direkten Effekte anderer Einstellungen von erster oder zweiter Welle

Fazit Längsschnittmodell

- Bei der **Entstehung** von Einstellungen bzgl. der Nutzen- und Kostenwahrnehmungen der VertiKKA sind sowohl prosoziale, Technik- und Umweltaspekte bedeutsam
- **Über die Zeit** sind Einstellungen bzgl. VertiKKA **stabil**
- Akzeptanz von VertiKKA wird im Zeitverlauf, **neben** der bereits **habituierten** Akzeptanz, **zusätzlich nur** noch von **Nutzenaspekten** beeinflusst

Verwertbarkeit und Nutzen

- Sind Aspekte aus dem Bereich der Technologie, Umwelt und gesellschaftlichen Zusammenhalt einmal mit VertiKKA in Verbindung gekommen, bleibt die Akzeptanz stabil
- Kampagnen können über einen längeren Zeitraum bei Aufrechterhaltung der Sichtbarkeit von (immateriellen) Nutzenaspekten, andere Aspekte (prosozial, Umwelt, Technik) vernachlässigen

3. Fazit

Es sind vor allem die Nutzenwerte, die die Akzeptanz von VertiKKA bedingen. Diese Nutzenwerte sind überwiegend immaterieller Natur, d.h. sie beziehen sich eher auf abstrakte und am Lebensstil orientierte Werte als Reflexionen über den technischen, materiellen oder rationalen Nutzen. Dieser immaterielle Erwartungsnutzen wird überwiegend durch Umweltbewusstsein determiniert. Für zukünftige Verwertung bedeutet dies, dass bei der Entstehung der wahrgenommenen Nützlichkeit von VertiKKA der Fokus auf den Nutzen für Lebensstil bezogene Aspekte im Kontext von Umweltaspekten maßgeblich ist. In dieser Entstehungszeit sind neben den Nutzenaspekten auch die wahrgenommenen erwarteten Kosten, im Sinne von Reparaturarbeiten und Mietpreisen, bedeutsam für die Akzeptanz. In späteren Phasen spielt jedoch dieser Kostenaspekt keine Rolle mehr, d.h. Bewohner*innen gewöhnen sich bei sichtbaren Nutzen an etwaige anfallende Kosten.

Technische, sowie prosoziale Aspekte können Kampagnen als dezente Ergänzung die Akzeptanz von VertiKKA erhöhen, spielen aber insgesamt eine untergeordnete Rolle (im vgl. zu Umweltaspekten).

Als Zielgruppe kommen zwei Typen in Frage: Typ A: ältere, umweltbewusst, kritisch-alternative und Typ B: jüngere, ganzheitlich liberal-konservative. Personen mit der niedrigsten VertiKKA Akzeptanz sind v.a. Personen mit niedrigem Umweltbewusstsein und Altruismus, sowie relativ hohen Werten an Leistungs- und Machtstreben.

4. Anhang und Zusatzmaterialien

Fragebögen, Informationen zur Datenerhebung, Deskriptive Arbeitsberichte und weiteres Zusatzmaterial frei abrufbar unter: <https://github.com/manumactang/vertikka>.

2.10 Sonstige Aktivitäten: Entwicklung des Planungs-Softwaretools „EMKAS“ (BCE)

VertiKKA ist als eine Maßnahme im Rahmen einer ganzen Reihe von Möglichkeiten der ressourceneffizienten und nachhaltigen Stadtplanung zu sehen. In diesem Zusammenhang wurde deutlich, dass bisher Werkzeuge fehlen, die solche Maßnahmen in einem leicht zu bedienenden Software-Tool abbilden und somit den kommunalen Akteuren den Einsatz gezielter und vor allem wirksamer Maßnahmen zu erleichtern. Aus diesem Grund wurde ein neues Arbeitspaket in Abstimmung mit dem Projektträger geschaffen. Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes erfolgte durch BCE. Ziel des Arbeitspaketes war die Entwicklung des Planungs-Softwaretools „EMKAS“ (EntscheidungsManagementtool für KlimaAngepasste Stadtplanung), welches auch von städtischen Mitarbeiter*innen eingesetzt werden kann. VertiKKA ist dabei eine Maßnahme unter vielen. Das Tool soll dabei unterstützen, Klimaanpassungsmaßnahmen für ein betrachtetes Stadtgebiet hinsichtlich ihres Kosten-Wirkung-Verhältnisses zu bewerten und auszuwählen. Dabei soll durch die Optimierung und Automatisierung der Arbeitsabläufe Zeit eingespart werden.

Beschreibung des Planungstools:

- Anwendung für ArcGIS
- Die Bedürfnisse der Kommunen an eine wirkungsvolle Quartiersplanung in Bezug auf Klimaschutz und -folgenanpassung sollen in diesem Tool umgesetzt werden, sodass es eine breite Anwendung erfährt.

Funktion des Tools:

In einem ersten Schritt werden die Bedarfe des Stadtteils an Klimaanpassungsmaßnahmen identifiziert. Im nächsten Schritt werden für jedes Flurstück die besten Maßnahmen automatisch identifiziert. Die Kriterien können ausgewählt und individuell gewichtet werden. Die Software wertet alle Maßnahmen-Kombinationen aus und bewertet diese anhand von Wirkungsdaten aus einer eigens angelegten Datenbank. Die Maßnahmen mit dem besten Kosten-Wirkung-Verhältniss werden dann automatisch für das Stadtquartier vorgeschlagen. Durch diese Vorauswahl der Software soll Stadtplaner*innen die Entscheidung der Maßnahmenwahl erleichtert werden. Für eine genauere Bewertung der Maßnahmen werden für die Vorauswahl der Maßnahmen weitere Daten von der Software abgefragt, welche dann bei einer Quartiersbegehung gesammelt werden.

Ziel ist es, eine informations- und wissensbasierte Entscheidungsgrundlage für die wirkungsvollsten bzw. effizientesten Maßnahmenkombinationen blau-grüner Infrastruktur für die Quartiersplanung bereitzustellen.

Anforderungen an die Software:

- Darstellung der Bedarfe zur Auswahl eines Quartiers
- automatische Maßnahmenvorschläge zur effizienteren Quartiersbegehung
- Maßnahmenbewertung mithilfe der genaueren Daten aus der Quartiersbegehung
- Sortierung und Darstellung der ausgewählten Maßnahmen für den Auftraggeber

Im Rahmen des Arbeitspaketes wurden die folgenden Aufgaben bearbeitet:

- Sammlung bereits vorhandenen Materials und angewandter Methoden aus vorangegangenen Projekten
- Erstellung einer Datenbank mit verschiedensten Maßnahmen der blau-grünen Infrastrukturplanung
- Absprache mit Ingenieur*innen der Stadtplanung zu verfügbaren Geodaten und Anforderungen an das Tool bezüglich der Anwendung, Bedienung und Ergebnisdarstellung
- Nutzung von ALKIS-Daten für die aktuelle Flächennutzung
- Absprache mit Softwareentwicklern zur Machbarkeit und der zur Softwareentwicklung erforderlichen Dokumentation
- Erstellung von Flussdiagrammen für jeden einzelnen Teilprozess
- Weiterentwicklung, Präzisierung, Darstellung und Dokumentation der Methodik unter Betrachtung von Datenstrukturen und Prozessen sowie deren Input-Output-Verhalten
- Anstellen erster Überlegungen zur Oberfläche und Bedienung des Tools inklusive Darstellung und Dokumentation derselben
- Entwicklung der einzelnen Anwendungen, die zusammen zu einem Demo-Projekt innerhalb der Software ArcGIS führten
- regelmäßige Abstimmungstreffen zwischen Software-Entwicklern, Konzeptentwicklung und Experten für Klimafolgenanpassung in Städten

Das EMKAS-Tool wird ebenfalls im Rahmen der Umsetzungs- und Verfestigungsphase weiterentwickelt.

Ingenieurbüro

- Datenaufbereitung
- Modellierung
- Planungsziele
- Quartiersbegehung
- Kommunikation und Absprache mit dem AG

EMKAS

- Anleitung durch alle Schritte
- Automatische Maßnahmenvorschläge
- Maßnahmenbewertung
- Darstellung der Maßnahmen

Auftraggeber

- Bereitstellung von Geodaten
- Auswahl Quartier
- Priorisierung und Kostenrahmen
- Auswahl Maßnahmenkonzept

Anwendungsoberfläche Ingenieurbüro

Darstellung Auftraggeber

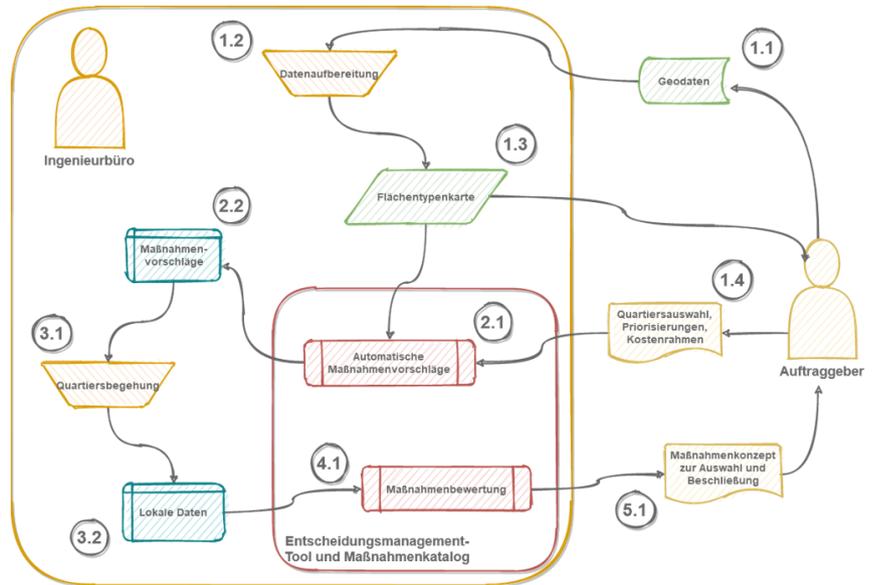


Abbildung 40: Darstellung des Ablaufprozesses innerhalb der entwickelten EMKAS-Software-Anwendung (eigene Darstellung BCE).

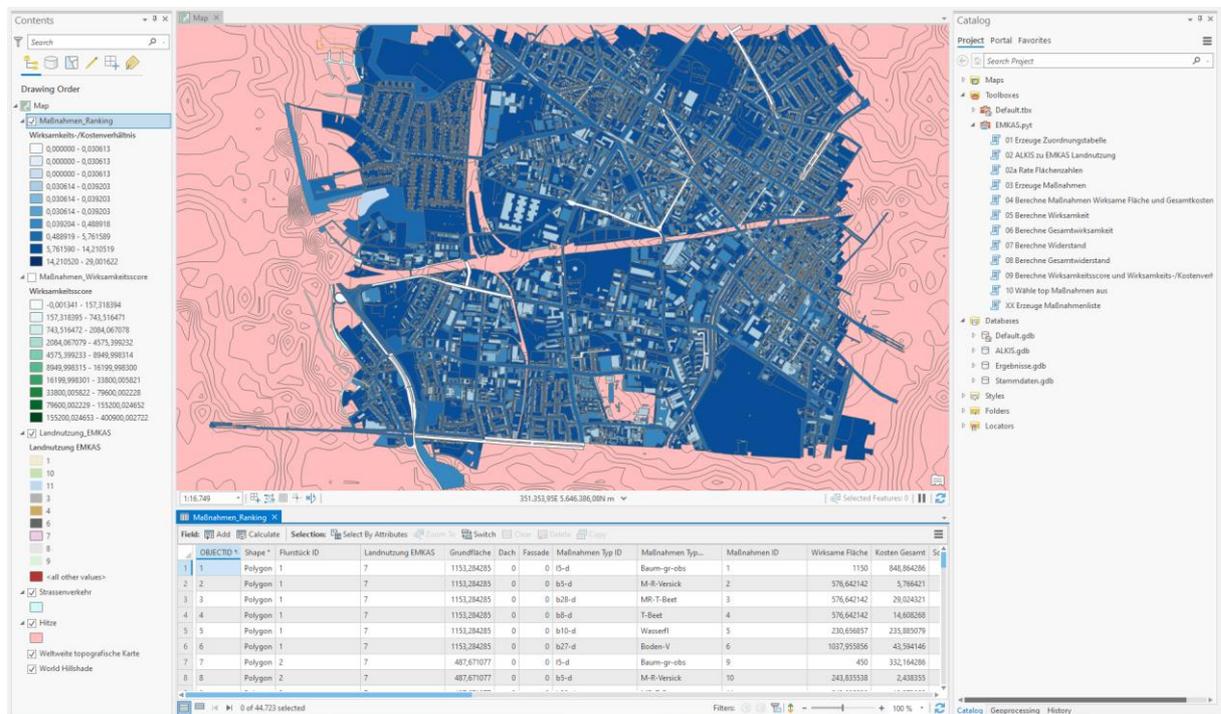


Abbildung 41: Auszug aus einem ersten Demo-Projekt anhand des Stadtviertels Köln Ehrenfeld und ausgewählte Maßnahmen (eigene Darstellung BCE).

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Mit dem Ziel, eine funktionsfähige Fassadenbegrünung mit Photovoltaik-Modul und Bewässerungssystem zu entwickeln, waren die geleisteten Arbeiten angemessen und notwendig. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung und Umsetzung haben die Arbeiten der Bereiche Technikentwicklung, Computersimulation, Transformationsmanagement (Genehmigungsmanagement, Betreibermodelle etc.), Öffentlichkeitsarbeit, Nachhaltigkeitsbewertung, soziologischer Akzeptanzforschung zu einem Forschungsstand geführt, an dem ein Prototyp im Reallabor getestet werden kann.

Die (im wesentlichen Corona-bedingten) Verzögerungen führten zur Beantragung einer kostenneutralen Verlängerung (um zwei Monate) aller Projektpartner. Mit Bescheid vom 29.10.2021 ist das Gesamtprojekt um zwei Monate kostenneutral verlängert worden; Projektende ist somit der 31.05.2022.

4 Voraussichtlicher Nutzen im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die im vorliegenden Bericht dargestellten Ergebnisse beruhen auf ersten Testversuchen und den Untersuchungen an dem Prototypen. Mit Förderung in der Umsetzungs- und Verstetigungsphase kann der Prototyp in einem Reallabor getestet und auf allen anderen Ebenen weiterentwickelt werden. Dies ist ein wichtiger und wesentlicher nächster Schritt, um die Übertragbarkeit der bisher gewonnenen Ergebnisse sicherzustellen, im realen Einsatz zu verifizieren und die Weiterentwicklung zu ermöglichen, um eine Überführung in die Praxis zu ermöglichen. Einige der Projektpartner*innen sind ebenfalls Teil des Konsortiums in der Verstetigungsphase.

VertiKKA kann einen positiven Beitrag zu einer nachhaltigen Stadt- und Quartiersentwicklung leisten. Durch die Multifunktionalität der VertiKKA können Flächenkonkurrenzen aufgelöst und regionale (Wasser-)Kreisläufe geschlossen werden; gleichzeitig werden durch ihre Umsetzung positive Effekte auf das Stadtklima, auf die Gesundheit und auf das Wohlbefinden der Menschen sowie Impulse für die regionale Wertschöpfung erwartet.

5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

VertiKKA kann mit ihrem multifunktionalen Aufbau und der kreislauforientierten (Selbst-)Versorgung mit Energie, frischer Luft und Brauchwasser eine Marktnische bedienen. Diese Nische wird bisher nicht bedient, jedoch gibt es ähnliche Ansätze in anderen Forschungsprojekten wie z. B.:

- interest-i, ein Pilotprojekt zur Fassadenbegrünung mit Grauwasser in Stuttgart (BMBF-gefördertes Verbundprojekt in der Leitinitiative Zukunftsstadt)¹³,
- Fassade³ effizient – aktiv – modular: Entwicklung eines multifunktionalen Fassadenelementes mit hohem Vorfertigungsgrad (TH Nürnberg)¹⁴,
- GreenPV: Grüne Fassade zur Energiegewinnung (TH Nürnberg)¹⁵

¹³ <https://www.interest-i.net/> (Zugriff 30.03.2022)

¹⁴ https://www.th-nuernberg.de/fileadmin/thn_forschung-innovation/FORSCHUNGSDATENBLAETER/Fassade3/Fassade3.pdf (Zugriff 30.03.2022)

¹⁵ <https://www.th-nuernberg.de/news/4446-gruene-fassade-zur-energie/> (Zugriff 30.03.2022)

Grundsätzlich lässt sich eine steigende Nachfrage nach Fassadenbegrünungssystemen feststellen, was sich u. a. in zahlreichen Umsetzungsprojekten widerspiegelt. So zog das VertiKKA-Vorhaben auch die Aufmerksamkeit der Internationalen Bauausstellung in Stuttgart auf sich; hieraus ergab sich eine Zusammenarbeit für die anschließende Umsetzungs- und Verfestigungsphase.

Durch eine Zunahme an Nachhaltigkeitsreporting-Pflichten für Unternehmen, Produkte, aber auch andere Bereiche, gibt es im Themenkomplex der Nachhaltigkeitsbewertung zahlreiche Ansätze und Bausteine, die auch im Laufe der Projektlaufzeit entstanden bzw. weiterentwickelt wurden, so beispielsweise:

- die Weiterentwicklungen des Deutschen Nachhaltigkeitskodex (DNK) als Tool zum Aufbau einer Nachhaltigkeitsstrategie und -berichterstattung, s. Rat für Nachhaltige Entwicklung (2020): Leitfaden zum Deutschen Nachhaltigkeitskodex. Online verfügbar <https://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de/de-DE/Documents/PDFs/Sustainability-Code/Leitfaden-zum-Deutschen-Nachhaltigkeitskodex-Orien>, Zugriff 11.07.2022.
- Projekt Gartenleistungen im RES:Z-Verbund: Inwertsetzung von Ökosystemleistungen, s. www.gartenleistungen.de (Zugriff 11.07.2022).

Auch sind im VertiKKA-Projekt zahlreiche wissenschaftliche Publikationen entstanden, die die Weiterentwicklung und Verbreitung des Forschungsansatzes unterstützen.

6 Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Bauhaus-Universität Weimar, Bauphysik

- [1] Alsaad, Hayder; Hartmann, Maria; Voelker, Conrad. The effect of a living wall system designated for greywater treatment on the hygrothermal performance of the facade. *Energy and Buildings* 2022;255:111711. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111711>.
- [2] Alsaad, Hayder; Hartmann, Maria; Voelker, Conrad. Hygrothermal simulation data of a living wall system for decentralized greywater treatment. *Data in Brief* 2022;40:107741. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107741>.
- [3] Hartmann, Maria; Alsaad, Hayder; Voelker, Conrad. Das Potential von Fassadenbegrünungen zur Verringerung des Wärmeinseleffekts: Simulation eines Beispielquartiers. *Bauphysiktag* 2022, Kaiserslautern, Germany 2022.
- [4] Alsaad, Hayder; Hartmann, Maria; Hilbel, Rebecca; Voelker, Conrad. The potential of facade greening in mitigating the effects of heatwaves in Central European cities. *Building and Environment* 2022;216:109021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109021>. Alsaad, H., Hartmann, M., Voelker, C. (2022a): The potential of facade greening in mitigating the effects of heatwaves in Central European cities, *Building and Environment* 216, 109021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109021>.
- [5] Alsaad, Hayder; Hartmann, Maria; Hilbel, Rebecca; Voelker, Conrad. ENVI-met validation data accompanied with simulation data of the impact of facade greening on the urban microclimate. *Data in Brief* 2022;42:108200 (submitted). <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108200>.

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- [6] Alsaad, Hayder; Engelhardt, Miriam; Voelker, Conrad. Messtechnische Untersuchung der Auswirkung von Fassadenbegrünungen auf den U-Wert der Außenwand. *Bauphysik* 2022;44(4):211-219 (submitted). <https://doi.org/10.1002/bapi.202200017>.
- [7] Paskert, Theresa; Alsaad, Hayder; Voelker, Conrad. Airflow through a façade greening system equipped with vertical photovoltaic modules. *Proceedings of BauSIM2022, Weimar, Germany 2022* (submitted).
- [8] Alsaad, Hayder; Voelker, Conrad. Heat and moisture transport through a living wall system designated for greywater treatment. *Proceedings of BS2021: 17th Conference of the International Building Performance Simulation Association, Bruges, Belgium 2021*.

BUW b.is.

- [1] Aicher, Andreas; Börmel, Melanie, Beier, Silvio (2020): Grauwasserreinigung an der Fassade. *Wasser und Abfall*, 7-8/2020: <https://www.springerprofessional.de/grauwasserreinigung-an-der-fassade/18264210>
- [2] Börmel, Melanie (2021): Vertikale KlimaKlärAnlage zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Lebens-qualität in urbanen Räumen, Landesverbandstagung Sachsen/Thüringen. *Das Klima wandelt sich! - Was können wir tun?* 06.05.2021, S. 199-209
- [3] VertiKKA: A ressource orientated vertical green system. Poster, A. Aicher, 08/2019
- [4] VertiKKA-Multifunktionale Fassadenbegrünungsmodule zur Reinigung von Abwasser
Poster zur „Coming Home-Ausstellung“ des „Bauhaus EINS Weimar e. V.“, 11/2019
- [5] Aicher, A.; Börmel, M.; Beier, S. (2020): Grauwasserreinigung an der Fassade, *Wasser und Abfall*, 07-08/2020, S. 14-19
- [6] Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites; in: *Blue-Green System (Vol 2 Issue1) 2020*

PI-Institut Berlin

- [1] Stefan Wendlandt, Abilene Silveira Friebe, Sophie Heller und Lars Podlowski: Stabilitätsuntersuchungen an transparenten Rückseitenfolien für den Einsatz in bifazialen Photovoltaik Modulen, Posterpräsentation auf dem 35. PV-SYMPOSIUM 16.-19. MÄRZ 2020. Online.

BCE

- [1] Wißmann, I., Middendorf, V., Schulz, M., Vesper, S. (2019): VertiKKA – Multifunktionale Fassadenbegrünungsmodule für die Städte der Zukunft. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, S. 989 – 994.. 2019 (66). Nr. 12. DOI: 10-3242/kae2019.12.001
- [2] Middendorf et al. (2021): Vertikale Klima-Klär-Anlage. Grauwasserreinigung und -nutzung durch Fassadenbegrünung, Transforming Cities 3/2021, S. 20-21
- [3] BA Silvan Ostheimer: „Fassadennutzung im Flächenkonflikt zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung“ (ausgezeichnet mit Peter-Wefing-Förderpreis 2021 der Hochschule Bremen), veröffentlicht unter <https://doi.org/10.26092/elib/794>
- [4] Bericht über Susanne Vesper und VertiKKA unter “Köpfe des Wandels“ (BMBF Wissenschaftsjahr 2020/21 Bioökonomie): 23.06.2021: Beitrag zu „Köpfe des Wandels“: Grünanlagen für die Wand: <https://www.wissenschaftsjahr.de/2020-21/aktuelles/koepfe-des-wandels/gruenanlagen-fuer-die-wand>
- [5] S.Vesper (2021): VertiKKA – Die Vertikale KlimaKlärAnlage, Rotarier Nürtingen, 23.02.2021.
- [6] S.Vesper (2021): „Leuchtturmprojekte im urbanen Kontext: Beispiele aus Forschung und Praxis“, online Vortrag Plan B – Bioökonomie für industrielle und urbane Räume in Baden-Württemberg: Umsetzung der Landesstrategie
- [7] Vesper, S. (2021): „A vertical and multi-functional façade-greening element“, 12th International Circular economy conference (12.ICEC)
- [8] Vesper, S. (2021) San Sebastian 2021, online Präsentation VertiKKA, <https://www.ehu.eus/es/web/caviar>.

IZES

- [1] Schinkel, U.; Becker, N.; Trapp, M.; Speck, M. (2022): Assessing the Contribution of Innovative Technologies to Sustainable Development for Planning and Decision-Making Processes: A Set of Indicators to Describe the Performance of Sustainable Urban Infrastructures (ISI). Sustainability Nr. 14. Heft 4 (URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/4/1966> | Zugriff am: 22.03.2022).
- [2] Becker, N.; Rohrbacher, R.; Speck, M.; Trapp, M.; Schinkel, U. (eingereicht): Urban green and its value for the city. Economic valuation of ecosystem services of multifunctional green walls in an urban context. Ecocity World Summit 2022 Proceedings.
- [3] DIN SPEC 91468: „Leitfaden für ressourceneffiziente Stadtquartiere“; Technische Regel (Entwurf)

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- [4] Ecocity World Summit 2022: Präsentation des VertiKKA-Projektes unter dem Titel “Urban green and its value for the city. Economic valuation of ecosystem services of multifunctional green walls in an urban context” (Nadja Becker, 22.02.2022, online)
- [5] Interner Wissensaustausch am IZES: Präsentation der VertiKKA und der Inwertsetzung ihrer Ökosystemleistungen (Nadja Becker, 24.05.2022, online)
- [6] Vu Tran Le (2022): Genehmigungsrechtliche Anforderungen von Photovoltaik-Fassaden in urbanen Räumen. In: Solarzeitalter 1-2022, S. 25-27.

HfWU

- [1] Vortrag zum Pilotprojekt Fassadenbegrünung, Dawonia Management GmbH, „Bauweisen, Strategien und Nutzen der Dach- und Fassadenbegrünung“, 12. Januar 2021
- [2] Vortrag Stadtverwaltung Böblingen, „Bauweisen, Strategien und Nutzen der Dach- und Fassadenbegrünung“, 08. Januar 2021
- [3] Vortrag im Rahmen der LASKO NTürlich Grün, zum Thema Dach- und Fassadenbegrünung
- [4] Online-Seminar Bauzentrum München, „Dachbegrünung: Gestaltung und Ausführung“, 23. Oktober 2020
- [5] Online-Seminar Hamburgische Investitions- und Förderbank, „Konzeption, Planung und Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen“, 21. Oktober 2020
- [6] Ganztagsseminar, Bayerische Architektenkammer, „Gebäudebegrünung an Dach- und Gebäudehülle“, 18. September 2020
- [7] Vorträge zur Auftaktveranstaltung „Grün statt Grau“ in Bochold und Vreden, WiLa Bonn, „Möglichkeiten und positive Effekte von Dach- und Fassadenbegrünungen“, 16. September 2020
- [8] Ganztagsseminar, Akademie der Architektenkammer NRW, „Grüne Architektur: Dach- und Fassadenbegrünung – Grundlagen und Praxishinweise“, 15. September 2020
- [9] Vortrag Stadt Frankfurt a. M., „Grüne Architektur: Klima prägt Stadt – Chance Gebäudebegrünung“, 15. September 2020
- [10] Ganztagsseminar, Architekten- und Stadtplanerkammer Hessen, „Grüne Architektur: Dach- und Fassadenbegrünung“, 11. September 2020
- [11] Ganztagsseminar, Architekten- und Stadtplanerkammer Hessen, „Grüne Architektur: Dach- und Fassadenbegrünung“, 20. August 2020

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- [12] Vortrag GIU Gesellschaft für Innovation und Unternehmerförderung Saarbrücken, GIU Veranstaltungsreihe Erfahrungsaustausch Stadtentwicklung Saar, „Dach- und Fassadenbegrünung zur Gebäudeoptimierung & Umfeldverbesserung“, 25. Juni 2020
- [13] Vortrag „Leistungsfaktoren Gebäudebegrünung“, 7. Forschungsforum Landschaft, Grün macht Klima – in Planung und Ausführung, Nürtingen, 05. März 2020
- [14] Vortrag/Webinar „Wege zur Nachhaltigkeit: Fassaden- und Dachbegrünung“, VHS. Böblingen-Sindelfingen, Themenreihe „Natur. Von Schönheit bis Schutz“, 03. März 2020
- [15] Mehr als blanke Fassade – Grundlagen zur Fassaden- und Dachbegrünung. Dach.Fassade.Garten. Mehr Natur für Rheine. Vortragsreihe zum Thema Gebäudebegrünung, Rheine, 02. März 2020
- [16] Ganztagsseminar „Strategische Anwendung von Gebäudebegrünung.Gebäudeoptimierung, Umfeldverbesserung, Lebensqualität“, Hamburgische Architektenkammer / Hamburgische Ingenieurkammer, 27. Februar 2020
- [17] Vortrag im Rahmen des After-Work! Klimawandel und Klimaangepasstes Bauen, Architekten- und Stadtplanerkammer Hessen, „Konzepte der Klimaanpassung. Gebäudebegrünung, Wirkung und Funktion“, 13. Februar 2020
- [18] Fachvortrag zum Themenkomplex der Gebäudebegrünung, Kommunale Möglichkeiten Artenvielfalt zu verbessern – Tag der Bienenweide, Bocholt, 08. Februar 2020
- [19] Halbtagsseminar „Dach- und Fassadenbegrünung in der Planung“, Fortbildung für Architekten, Ingenieure, Planer, Energieberater, Bau- und Immobilienfachleute, Seminar im Rahmen der Baumesse ALTBAUNEU, Kreis Gütersloh, 01. Februar 2020
- [20] Vortrag zum Workshop Biodiversität auf Hochschul-Liegenschaften, „Biodiversitätspotenzial von Vertikalbegrünungen“, Nürtingen, 29. November 2019
- [21] Vortrag im Rahmen des BuGG-Fassadenbegrünungssymposiums „Fassadenkonstruktionen und geeignete Begrünungsformen“ in Düsseldorf, 21. November 2019
- [22] Workshop/Vortrag „Klimaangepasste Stadtgestaltung“, Grünflächenamt Frankfurt a. M., 28. Oktober 2019
- [23] Vortrag FAKT-Förderverein für Archäologie, Kultur und Tourismus e.V., Kinderhochschule „Was grüne Häuser Tolles können“, Erkenbrechtsweiler, 16. Oktober 2019

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- [24] Vortrag im Rahmen der Biotope City-Tagung „Die dichte Stadt als Natur“, „Die urbane Zukunft: Klimaresilienz, Biodiversität und die neue Schönheit von Architektur und Städtebau“, Berlin, 10. Oktober 2019
- [25] Teilnahme & Moderation, BuGG-Tag der Forschung und Lehre in Würzburg, 14. September 2019
- [26] Vortrag Kinderhochschule HfWU-Nürtingen „Was grüne Häuser Tolles können“, Nürtingen, 25. Juli 2019
- [27] Vortrag im Bauzentrum München „Dachbegrünung: Gestaltung und Ausführung“, 10. Juli 2019
- [28] Vortrag, Gartenakademie Baden-Württemberg, 4. Fachtagung Extensive Pflanzkonzepte für Vorgärten und öffentliches Grün, „Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit und Lebensqualität“, Weinstadt, 09. Juli 2019
- [29] Vortrag zur Tagung Klimaanpassungsstrategien des BDLA „Klimawandel gestalten – Grüne Architektur“, Essen, 13. Juni 2019
- [30] Vortrag, avela Fachtagung Resilientes Stadtgrün „Stadtgrün als Chance für eine nachhaltige Stadtentwicklung“, 06. Juni 2019
- [31] Ganztagsseminar Architektenkammer Nordrhein-Westfalen „Grüne Architektur – Dach- und Fassadenbegrünung“ 07. Mai 2019
- [32] Vortrag Gesprächsforum Wirtschaft – Schwerpunkt „Klimaaktiv – Dach- und Fassadenbegrünung“ in Bramsche am 15. Februar 2019
- [33] Vortrag im Rahmen des Fachgesprächs „Grün in Städten“, VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf, 12. Februar 2019
- [34] Vortrag "Innovationen im nachhaltigen Bauen"  im Rahmen der BAU 2019 in München, 29.–30. Januar 2019
- [35] Input zur Fortsetzung des Sonderprogramms des Landes zur Stärkung der biologischen Vielfalt, 23. Januar 2019, Leinfelden-Echterdingen
- [36] Vortrag im Rahmen der Grünen Woche Berlin, Grünen Fraktion Berlin, am 19. Januar 2019
- [37] Präsentation der Leistungsfaktoren von Dach- und Fassadenbegrünungen im Rahmen des HfWU Hochschulforums 2018
- [38] Vortrag BuGG Symposium Hamburg, 25. September 2018

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- [40] Pfoser, N. et al. (2020): Machbarkeitsstudie zur Umsetzung der Begrünung des durch das Gebäudemanagement der Stadt Freiburg (GMF) verwalteten Gebäudebestandes in Hotspots der Hitzebelastung, Freiburg i. Br., Umweltschutzamt (Hrsg.) (164 Seiten)
- [41] Pfoser, N./Sieber, S. (2019): Fassadenbegrünung am Beispiel Heinrichstraße. Konzeptionelle Beratung, Darmstadt (68 Seiten)
- [42] Pfoser, N. (2019): Photovoltaik und Gebäudebegrünung, Lösungen und Vorteile, in: Neue Landschaft 11/2019, S. 44–45
- [43] Pfoser, N. (2019): Solar-Gründächer. Mehr als die Summe ihrer Teile, in: AKP. Energie- und Wärmewende 06/2019, S. 36–37
- [44] Pfoser, N. (2019): Photovoltaik und Gebäudebegrünung, Lösungen und Vorteile, in: Transforming Cities 04/2019, S. 16–17
- [45] Pfoser, N. (2019): Strategie Gebäudebegrünung. Lebensqualität, Klimaausgleich, Reduktion des Energiebedarfs, in: Magazin Innenstadt/Netzwerk Innenstadt NRW, Thema Grüne Architektur, S. 4–7
- [46] Pfoser, N. (2018): Florale Fassaden – Hängende Gärten, In: db deutsche bauzeitung 05/2018, S. 60 ff.
- [47] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Hrsg. (2018): FLL Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen. Bonn
- [48] Pfoser, N. (2018): Fachbuch „Vertikale Begrünung“, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart
- [49] Pfoser, N. (2020): Gebäudeintegrierte Farmwirtschaft, in: Neue Landschaft 10/2020, S. 32 ff.
- [50] Pfoser, N. (2020): Gebäudeintegrierte Farmwirtschaft. Lösungen und Vorteile, in: Transforming Cities 03/2020, S. 71–73
- [51] Freie Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie, Hrsg. (2018): Dachbegrünung – Leitfaden zur Planung. Begründungsunterlagen für Dachbegrünungen in der verbindlichen Bauleitplanung sowie in der Baugenehmigungspraxis. Hamburg, unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/10603292/c6eb1f159c491cfd8c7188f77b0dd277/data/d-leitfaden-dachbegrue-nung.pdf/> [01.12.2020] (44 Seiten)

ifak

- [1] Vieira, C. (2019): VertiKKA - Fachadas verdes para tratamiento de aguas residuales y producción de energía eléctrica. Deutsch-Kolumbianischer Workshop „REDU – Red de Drenaje

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

Urbano – Netzwerk Stadtentwässerung“, Bogotá/Kolumbien, 02. – 04.12.2019. (N.B.: Kosten für Workshopteilnahme wurden nicht aus VertiKKA-Mitteln bestritten.)

- [2] IFAT 2022 – München – 30.05. – 03.06.2022
Stand des ifak auf der weltgrößten Messe zur Abwasser- und Abfalltechnik. Interessierte Besucher wurden auf VertiKKA hingewiesen.
- [3] ifak-Video: Überwachung von vertikalen Pflanzenkläranlagen
https://www.youtube.com/watch?v=j8HzTPR_Qz8 11.06.2021
- [4] TV-Beitrag, 19.07.2022, 20.15 Uhr, MDR-Umschau:
VertiKKA am ifak: von Minute 06:25 bis Minute 07.35
<https://www.ardmediathek.de/video/umschau/welche-ideen-architekten-fuer-hitzeschutz-in-den-staedten-haben/mdr-fernsehen/Y3JpZDovL21kci5kZS9iZWl0cmFnL2Ntcy8wNjMxMjMwNi00N2IzLTQwMDktY-TRiMy00NmVIYWU1NTQ4OGQ>
- [5] Wie für jedes der am ifak durchgeführten Forschungsprojekte erfolgten entsprechende Einträge im Jahresbericht des ifak sowie auf der ifak-Webseite auch für das VertiKKA-Projekt.
- [6] Mehrere Social Media- und ifak-News-Postings zu VertiKKA

StEB/Stadt Köln

- [1] Pressemeldung zum Start von VertiKKA
- [2] Ratsmeldung
- [3] Masterarbeit: "Bewertung der VertiKKA in der Starkregenvorsorge".
- [4] Animationsfilms über VertiKKA innerhalb einer StEB-Filmreihe zur wasserwirtschaftlichen Anpassung an den Klimawandel (<https://vimeo.com/686722042/875d5a6cd3>)

Sonstige Beiträge und („nicht wissenschaftliche“) Veröffentlichungen:

- [1] 01.09.2021: Beitrag im Tagungsband der Building Simulation Conference in Brügge, Belgien: Heat and moisture transport through a living wall system designated for greywater treatment.
- [2] 08.07.2021: TV-Beitrag in der Sendung mdr um 4: Steter Fluss: Wissenschaft gegen Trinkwasserknappheit: <https://www.ardmediathek.de/video/mdr-um-4/steter-fluss-wissenschaft-gegen-trinkwasserknappheit/mdr-fernsehen/Y3JpZDovL21kci5kZS9iZWl0cmFnL2Ntcy82MWZi-OWE4OS1kODU3LTQyNjAtODY4OC0wOGE2NTJiMThkZTc/>

Projektträger Jülich

Endbericht VertiKKA – Teil II: Eingehende Darstellung

- [3] 23.06.2021: Beitrag zu „Köpfe des Wandels“: Grünanlagen für die Wand: <https://www.wissenschaftsjahr.de/2020-21/aktuelles/koepfe-des-wandels/gruenanlagen-fuer-die-wand>
- [4] 11.06.2021: Film über die Sensorik-Forschung am ifak: https://www.youtube.com/watch?v=j8HzTPR_Qz8
- [5] 06.05.2021: Vortrag auf der DWA Landesverbandstagung Sachsen/Thüringen: Vertikale Klimäläranlage zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Lebensqualität in urbanen Räumen

Aufgestellt:

i.A. Vera Middendorf, Imke Wißmann

Leonberg, September 2022

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH



Dr. Ing. Susanne Veser