

Water Cycle Cities: IoT-basiertes Fernüberwachungs- und hydrologisches Simulationssystem zur Quantifizierung der Auswirkungen und Unterstützung der Aufrechterhaltung des dezentralen Regenwassermanagements in der südkoreanischen Stadt Andong

Harald Sommer¹, Thomas Schenderlein¹, Kyungho Kwon², Juhying Shin³, Kyungho Cheon⁴, Yeonchang Kim⁵

¹ *Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker, Hoppegarten; D,*

² *STORMWATER-bio Co., Ltd., Incheon,*

³ *K-Water, Daejeon,*

⁴ *EPS-ene, Anyang;*

⁵ *City of Andong (2-5 Republic of Korea)*

Kurzfassung: In der Stadt Andong in Südkorea, die wie viele Städte mit Starkregen einerseits und mit Trockenphasen andererseits zu kämpfen hat, wurden im großen Stil begrünte Pflanzenboxen im Straßenseitenraum installiert. Diese dienen dazu ähnlich wie Tiefbeetrigolen das anfallende Niederschlagsablaufwasser der Straßen aufzunehmen und zu versickern und gleichzeitig die Pflanzen zu bewässern. Die Überwachung und Kontrolle erfolgt mit kostengünstiger LoRaWAN Sensorik für Wasserstand und Bodenfeuchte überwacht. Die Ergebnisse der Messungen werden für die Optimierung des Einbaus der Pflanzenbox verwendet. Eine Schwierigkeit in der Beurteilung ist der örtlich variable anstehende Boden.

Zusätzlich wurden noch eine große Rigole sowie eine Zisterne und größere versickerungsfähige Flächen gebaut. Insgesamt wurden somit ca. 35,5 ha öffentliche Fläche abgekoppelt und bewirtschaftet. Durch die Erstellung eines digitalen Zwillings mit dem hydrologischen Modell STORM und der gleichzeitigen Verwendung der Messdaten konnte die Wirkung auf die Veränderung des Wasserhaushaltes hinsichtlich der Verminderung des Abflusses in die Gewässer abgeschätzt werden.

Key-Words: Wasserhaushaltsbilanz, Rückhalt, Blau-Grüne Infrastruktur, Starkregen, IoT, LoRaWAN

1 Anlass

Um Probleme wie den sinkenden Grundwasserspiegel, Überschwemmungen in Städten, einen Mangel an Wasser für die Stadtverwaltung während der Trockenzeit, die Verschlechterung aquatischer Ökosysteme, das Auftreten von Grünalgen in Flüssen und die Zunahme des Phänomens urbaner Wärmeinseln aufgrund von Urbanisierung und Klimawandel zu lindern, startete das Umweltministerium der Republik Korea im Jahr 2016 das „Projekt ‚Führende Stadt im Wasserkreislauf‘“ (Water Cycle Leading Cities).

Es wurde ein öffentlicher Wettbewerb für Städte ausgeschrieben, die an dem Projekt teilnehmen wollten. Nach einer Evaluierung vor Ort und einer Dokumentenauswertung wurden insgesamt fünf Städte (Daejeon, Gwangju, Ulsan, Andong und Gimhae) ausgewählt. Die ausgewählten Städte erhalten vom Umweltministerium finanzielle Unterstützung für die Durchführung von Pilotprojekten zum Wasserkreislauf und müssen kontinuierlich Strategien zur Verbesserung des städtischen Wasserkreislaufs vorantreiben, indem sie Pläne für den städtischen Wasserkreislauf erstellen und Verordnungen zum Wasserkreislauf erlassen.

2 Ziel

Andong City ist eine Stadt im nördlichen Teil von Gyeongsangbuk-do, Südkorea, und das urbanisierte Gebiet erstreckt sich um den Fluss Nakdong. Das urbanisierte Gebiet von Andong weist eine Struktur auf, in der das Stadtzentrum, große Industriekomplexe und ländliche Gebiete gemeinsam harmonisch, und weist die Merkmale eines traditionellen Hanok-Dorfs und eines modernen Stadtzentrums auf, die nebeneinander bestehen. Im Stadtzentrum sind Hochhaus-Apartmentkomplexe und Einfamilienhäuser dicht besiedelt, und es hat sich ein Wohnumfeld gebildet, das mit kommerziellen Einrichtungen verbunden ist, und in den Außenbezirken gibt es noch immer viele Wohngebiete im ländlichen Stil, in denen eine Form erhalten bleibt, in der das Stadtzentrum und die ländlichen Gebiete nebeneinander existieren.

Ziele des von Stadt Andong und Umweltministerium Südkoreas geförderten Projektes war es Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushalts, Reduzierung des Abflusses und Minimierung der Überflutung bei Starkregen zu erreichen. Weiterhin sind große Rückhalteräume vorgesehen worden, um in Trockenzeiten Bewässerungsmaßnahmen durchzuführen.

3 Maßnahmen

Zur Erreichung der oben genannten Ziele wurden Maßnahmen der Regenwasserrückhalte- und Wasserspeichersysteme geplant und mittlerweile umgesetzt (Abbildung 1):

- Unterirdischer Wasserspeicher für Regenwasser der angrenzenden Straßenflächen.
- Begrüntes Speicherelement (Volumen ca. 0,5 m³ pro Element)
- Begrünung mit Verdunstung und möglicher Staubabsorption.
- Eine zentrale Messwerterfassung und Vorhersage zur Verbesserung der Wasserbilanz.

Durch die durchgeführten Maßnahmen konnten knapp 36 ha Stadtgebietsflächen dezentral bewirtschaftet werden.

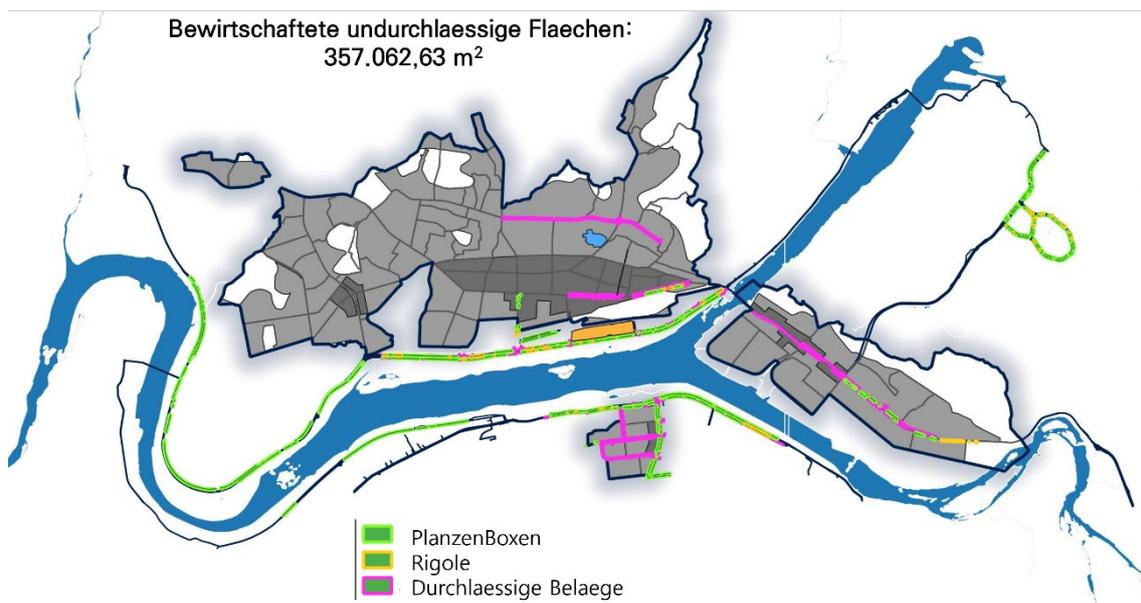


Abbildung 1: Bewirtschaftete Flächen im Stadtgebiet von Andong.

Ein großer Teil der bewirtschafteten Straßen wurden durch Pflanzenboxen, einer kleinen Bauform von Tiefbeet-Rigolen-Systemen, abgekoppelt (Abbildung 2). Insgesamt sind fast 2.900 Pflanzenboxen (Tabelle 1) am Straßenrand gebaut worden.



Abbildung 2: System Pflanzenboxen mit Zulauf von der Straße.

Dazu kommen auch noch ca. 87.561 m² wasserdurchlässige Beläge. Hier kommen Sickerpflaster zum Einsatz. Weiterhin sind in kleinerem Umfang auch unterirdische Rückhalteanlagen errichtet worden.

Tabelle 1: Maßnahmen und Menge.

Einrichtungen	Menge (EA)	Anlagen Fläche (m ²)	Bewirtschaftete undurchlässige Fläche (m ²)
Pflanzenboxen	2.894	5.100,29	232.385,08
Rigolen	173	519,00	17.096,71
Zisterne für Regenwassernutzung	1	464,35	4.479,46
Wasserdurchlässige Beläge		87.561,61	103.101,38
davon - Straße		45.012,75	60.552,52
- Maskenpark		28.372,51	28.372,51
- Food Street		2.339,63	2.339,63
- City Hall		11.836,72	11.836,72

4 Untersuchungen und Auswertungen

Um die Wirksamkeit des Projekts quantitativ zu bewerten und ② den Betrieb und die Wartung der Anlage zu unterstützen, wurde ein IoT-basiertes Fernüberwachungssystem aufgebaut (Abbildung 3).

Die Quantifizierung der Projektwirksamkeit erfolgt durch die Aufteilung der langfristigen Simulationsergebnisse der letzten 20 Jahre in 1) Umwelteffekte und 2) wirtschaftliche Effekte durch das hydrologische Online-Modellierungssoftware STORM.

Die Funktion zur Unterstützung des Anlagenbetriebs und der Anlagenwartung schätzt den aktuellen Leistungsstatus der Anlage durch Echtzeitsimulationen und Änderungen der gemessenen Werte und simulierten Werte (Abbildung 4).

Um die oben genannten Funktionen auszuführen, wurde das hydrologische Online - Modell STORM für die am Zielstandort installierte dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsanlage wie folgt erstellt.

Räumliche Informationen wurden in das STORM-Modell eingegeben, nachdem die CAD-Entwurfsdaten des Zielstandorts in ein GIS-System konvertiert wurden.

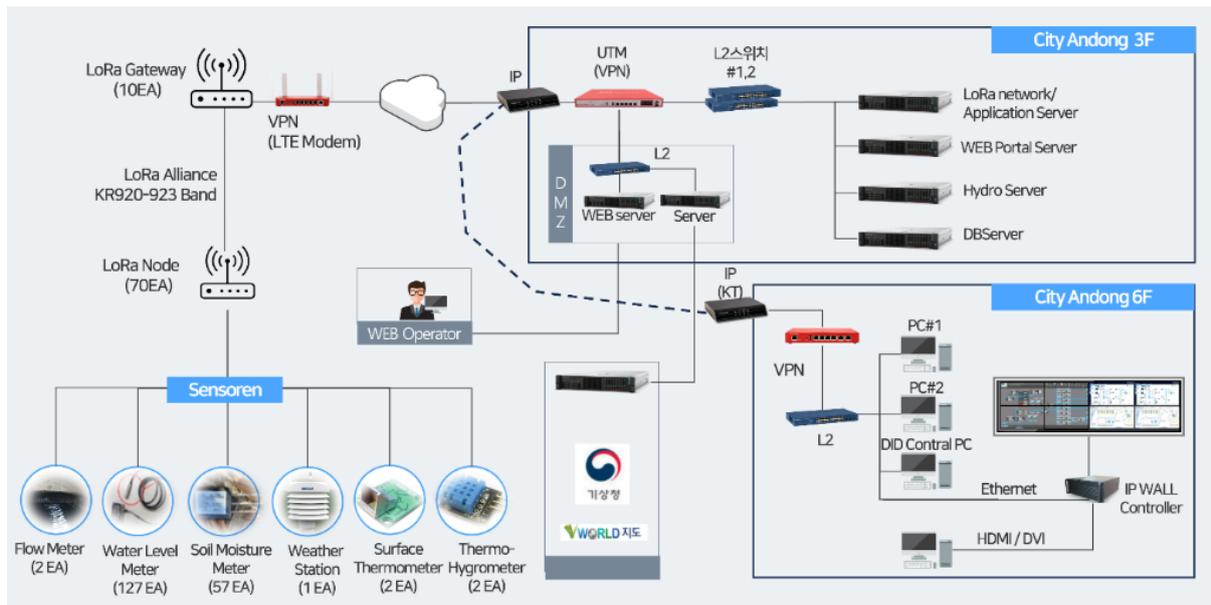


Abbildung 3: Entwicklungsvarianten für die Beschickung durch Dachflächen oder von Plätzen.



Abbildung 4: Experimentelle Untersuchung zum Zu- und Abflussverhalten in Pflanzenboxen.

Arten und Einbauorte von Wasserstandssensoren

Um die Zufluss- und Abflusseigenschaften in den Pflanzentöpfen zu untersuchen, wurde ein Wasserwagen-Experiment durchgeführt. Insgesamt neun Wasserstandsanzeiger wurden auf der Vegetationsschicht, im Pflanzkasten und in der Kiesschicht von drei Pflanzenboxen installiert (Abbildung 5).

Am Auslass des Wasserwagens wurde ein Durchflussmesser installiert. Der Wasserstand wurde auf der Vegetationsschicht, im Pflanzkasten und in der Kiesschicht gemessen, während kontinuierlich eine konstante Wassermenge von 32,5 Litern/min zugeführt wurde.

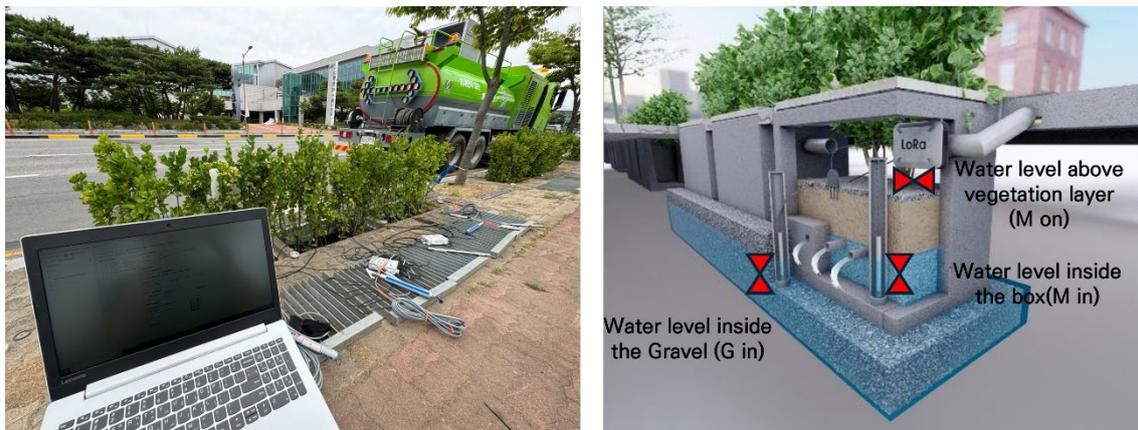


Abbildung 5: Arten und Einbauorte von Wasserstandssensoren.

Der zeitliche Verlauf der Wasserstandsänderungen an den drei Punkten ist unten dargestellt. Mit der Wasserzufuhr aus dem Wasserwagen begann der Wasserstand über die Vegetationsschicht zu steigen. Etwa 10 Minuten nach dem Anstieg des Wasserstandes stieg der Wasserstand im Pflanzenbox aufgrund des in das Überlaufloch fließenden Wassers schnell an (Abbildung 6).

Der Wasserstand im Pflanzenboxen erreichte durch die Wasserzufuhr innerhalb von etwa einer Stunde maximal 0,55 m, während der Wasserstand über der Vegetationsschicht konstant bei 0,14 m, der Höhe des Überlaufs, gehalten wurde.

Der Wasserstand in der Kiesschicht begann ab 13:38 Uhr zu steigen und stieg bis 14:25 Uhr weiter an und erreichte etwa 0,2 m. Unmittelbar nach dem Stoppen der Wasserzufuhr aus dem Wasserwagen sanken die Wasserstände im Pflanzenbox und über der Vegetationsschicht sofort wieder, während der Wasserstand in der Kiesschicht etwa 20 Minuten lang weiter anstieg, einen Höchststand von 0,2 m erreichte und anschließend wieder zu sinken begann.

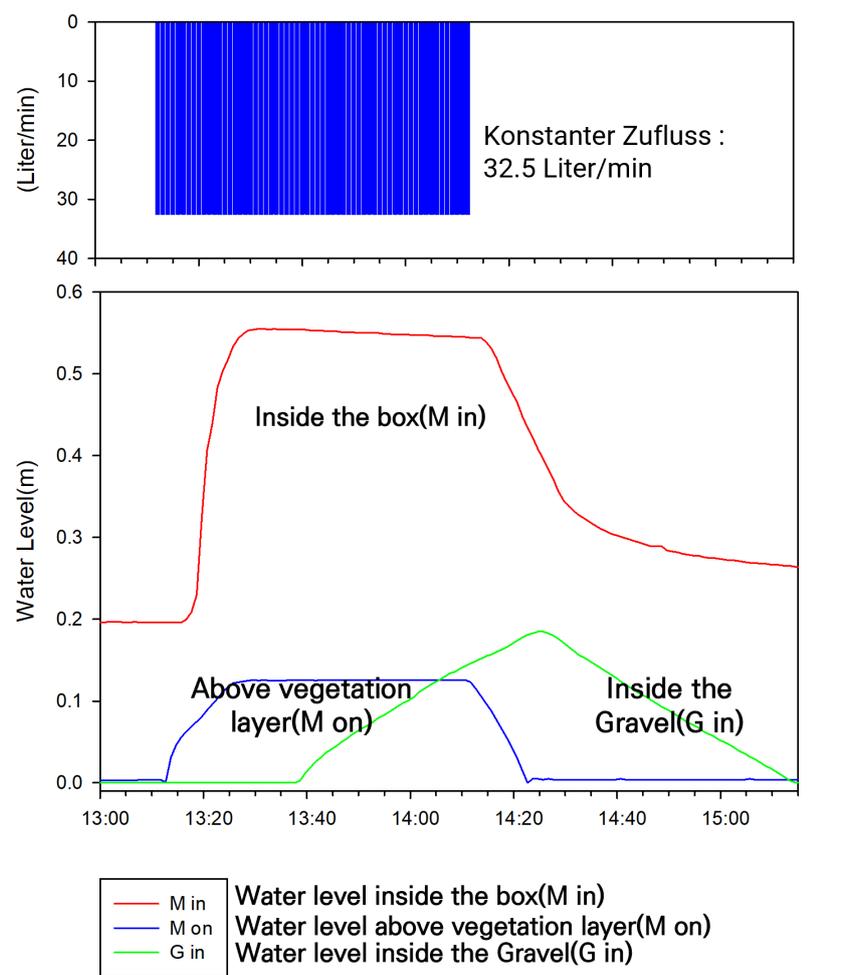


Abbildung 6: Der gemessene zeitliche Verlauf der Wasserstandsänderungen.

Die Fernmessungen der Bodenfeuchtigkeit, des Wasserstands in der Kiesschicht, des Wasserstands im Planzenbox und der elektrischen Leitfähigkeit im Boden von HM0_R260 über einen längeren Zeitraum ergaben folgende Ergebnisse (Abbildung 7).

Veränderungen der Bodenfeuchtigkeit und des Wasserstands im Planzenbox sind bei Regenfällen deutlich erkennbar.

Bei geringem Niederschlag steigt der Wasserstand in der Kiesschicht nicht an, steigt jedoch an, wenn Niederschlagsmenge und -intensität einen bestimmten Wert überschreiten.

Aufgrund des im Boden während des Regens entstehenden Wasserdrucks steigt der Wasserstand im Planzenbox durchschnittlich um 0,5 m an. Nach dem Ende des Regens sinkt er jedoch um den Wasserstand des Speichers und fällt dann langsam wieder ab. Der schnelle Wasserstandsrückgang wird auf die Evapotranspiration der Pflanzen im Boden zurückgeführt.

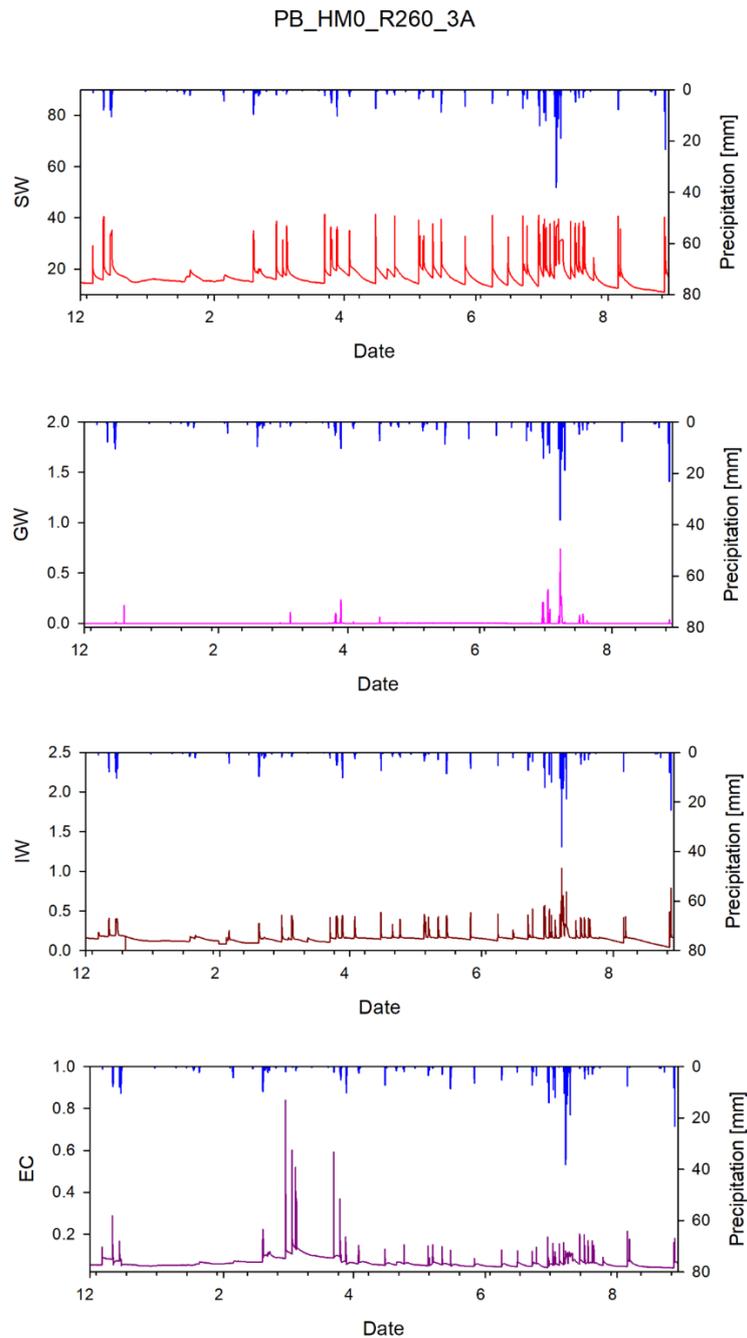


Abbildung 7: Die Fernmessungen von HM0_R260.

Zur Darstellung der Zeitreiheninformationen wurden Niederschlags- und Klimadaten verwendet,

- ① die Werte für die Langzeitsimulation der Vergangenheit wurden von der Wetterstation der Stadt Andong verwendet, und
- ② die Werte für die Echtzeitsimulation wurden vom zusammengesetzten Wettersystem verwendet, das in diesem Projekt installiert wurde.

Im Folgenden sind die Zielelemente zur Quantifizierung der Projekteffekte durch langfristige Simulation und Überwachung aufgeführt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ziele und Quantifizierbare Auswirkungen.

Ziel	Quantifizierung der geschäftlichen Auswirkungen	Einheit
1) Verbessern Sie die Wasserzirkulation	Indikatoren für das Wasserkreislaufmanagement: Anteil undurchlässiger Flächen, Wasserkreislafrate	[%]
2) Sicherung der Wasserressourcen	Regenwassernutzung zur Wasserversorgung, Grundwasseranreicherung	[m ³ /Jahr]
3) Reduzierung des Spitzenabflusses	Anteil von Überflutungen an Straßen: Auslegungsdurchdringungsstärke	[mm/Std.]
4) Verbesserung der Wasserqualität	LID Kontrolle der Verschmutzung durch diffuse Quellen: Belastung	[mg/Liter]
5) Milderung urbaner Wärmeinseln	Temperatursenkender Effekt durch Straßensprinkler	[C]
6) Prävention von Unfällen mit Chemikalien auf der Straße	Sperrfunktion für gefährliche Stoffe: Bewirtschaftete Straßenfläche, Straßenlänge entlang Nakdong-River	[m ² , m]

Die folgenden Elemente werden bereitgestellt, um den Betrieb und die Wartung der Anlage durch Echtzeitsimulation zu unterstützen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Meßgrößen.

Messgröße (LoRaWAN Sensorik)	Quantifizierung der betrieblichen Auswirkungen	Notiz
1) Wasserstandsänderung	Verschlechterung der Anlagendurchlässigkeit	Vergleich mit der Durchlässigkeit des vorhandenen Bodens
2) Elektrische Leitfähigkeit	Pflanzenwuchsschäden durch Calciumchlorid	Schadensschwelle und Dauer
3) Bodenfeuchtigkeit	Wassermangel oder schlechte Entwässerung der Pflanzen	Verpackungsmenge und Fälschungsshop
4) Wasserstand unterhalb der Infiltrationsfläche:	Phänomen der Verstopfung der Überlaufpackung	Änderungen des Wasserstandes unter dem Überlauf
5) Wasserstand im Reservoir	Regenwasserspeicher Zulaufverstopfung	Regenwasserzufluss und -nutzung

5 Modellaufbau Digitaler Zwilling

Zu Modellierung mit dem digitalen Zwilling (serverbasiert, online) wurden alle unterschiedlichen Flächen mit den Verknüpfungen im GIS vorbereitet und dann teilautomatisiert in das Modell übernommen. Insgesamt handelt es sich hier über mehr als 500 Elemente. Alle Messtellen wurden objektbezogen automatisiert angelegt und in das Modell integriert. Es handelte sich hierbei um mehr als 300 Ganglinien unterschiedlicher virtueller Messpunkte, die im Modell gerechnet und dargestellt werden können (Abbildung 8).

7 Literatur

Water Cycle City (2017-2025): IoT-basiertes Fernüberwachungs- und hydrologisches Simulationssystem zur Quantifizierung der Auswirkungen und Unterstützung der Aufrechterhaltung des dezentralen Regenwassermanagements in der südkoreanischen Stadt Andong, gefördert von Stadt Andong und Umweltministerium Suedkoreas, 2017-2025

WGS 4.0 (2022): WaterGridSense 4.0, Verteilte LoRaWAN Sensoren in Regen- und Abwassernetzen zur Prädiktiven Wartung, gefördert vom BMBF 2019-2022

Korrespondenz an:

Dr. Harald Sommer
Rennbahnallee 109A, 15366 Hoppegarten, Deutschland
Telefon: +49 30 042 359528
E-Mail: h.sommer@sieker.de