

Konzept zum Schutz der Bäume durch die digitalisierte Bewässerung im Förderprojekt „Cleveres Gerauer Land“



Das Projekt ist gefördert worden durch die hessische Staatskanzlei im Förderprogramm „Starke Heimat Hessen“. Das Konzept erläutert die im Rahmen des Projekts getroffenen Überlegungen sowie die Auswahl der Referenzbäume und zeigt diese mit GPS-Positionen als Grundlage für die Installation der Sensorik in einer Karte auf.

Schutz der Bäume

0. VORWORT	3
1. KLIMAVERÄNDERUNGEN IN DEN LETZTEN 10 JAHREN	4
2. AUSWIRKUNGEN AUF DIE UMWELT	5
3. HERAUSFORDERUNGEN FÜR KOMMUNEN	6
4. BEWÄSSERUNG VON STÄDTISCHEN BÄUMEN	7
4.1 Vorteile der Bewässerung von Stadtbäumen	11
4.2 Der Aufbau von Baumscheiben	14
5. LORAWAN - NETZWERK	16
6. AUSGANGSLAGE IN UNSEREN KOMMUNEN	17
6.1 Büttelborn	18
6.2 Nauheim	20
6.3 Trebur	22
7. ENTWICKLUNG DER BEWÄSSERUNGSLÖSUNG	23
8. INSTALLATION EINES DEMO-USECASES MIT LIVEDATEN	24
9. AUSSCHREIBUNG: SENSOREN UND WEBAPP	29
10. PLANUNG ZEIT UND KOSTEN	33
10.1 Zeitplan	33
10.2 Kosten	33
11. ART DER REFERENZBÄUME	35

0. Vorwort

Im Jahr 2021 hat der Zweckverband Wasserwerk Gerauer Land die manuelle jährliche Erfassung der Funkwasserzähler durch eine innovative digitalisierte Technik ersetzt, die zweimal täglich die Zählerstände ermittelt und weiterleitet. In der ersten Ausbaustufe wurden etwa 6500 (von geplant 10000) Funkwasserzähler implementiert, die seit 2021 zur Abrechnung verwendet werden. Zu den Kostenvorteilen ergibt sich ein zusätzlicher Nutzen für Wartung und durch eine frühzeitige Feststellung von Störfällen.

Für die Übertragung der Daten der Funkwasserzähler wurde ein LoRaWAN Netzwerk installiert, welches mit 15 Gateways die drei Kommunen Nauheim, Büttelborn und Trebur abdeckt. Dabei wurden die Standorte für die Gateways von den Kommunen zur Verfügung gestellt.

Das LoRaWAN Netzwerk des WWGL deckt deutlich mehr als die Fläche der drei Kommunen ab und ist selbst mit einem Ausbau von mehreren 10.000 Sensoren in der Lage, auch noch andere Zustandswerte über Sensorik zu empfangen. Aus diesem Grund hat sich der Zweckverband Wasserwerk entschieden, den Kommunen die Netzwerkinfrastruktur unentgeltlich zur Nutzung für andere Projekte zur Verfügung zu stellen.

Im Jahr 2022 haben die Bürgermeister der drei Kommunen mögliche Digitalisierungs-Projekte gemeinsam erarbeitet. Die hessische Staatskanzlei hat zum März 2023 allen eingereichten 3 Projekten die Förderzusage erteilt.

Projekte der Förderung:

- 1) Mein Wasser+ Portal: zur Information der Bürger in Bezug auf Wasser und Umwelt
- 2) Intelligente LED-Straßenbeleuchtung und Winterdienst
- 3) Bedarfsorientierte Bewässerung und Schutz von Bäumen und Grundflächen

Mitwirkung am Projekt:

Zweckverband Wasserwerk Gerauer Land (WWGL)

HAWK - Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (Prof. Dr. Steffen Rust)

Grünflächenamt Frankfurt - Erfahrungsaustausch

Kommunale Fachabteilungen und Bauhöfe der Kommunen Nauheim, Trebur, Büttelborn

IoT Masters - Gesamtprojektleiter und Verfasser (Dipl.-Ing. Kai Fährndrich)

Der Verfasser dieses Dokuments hat Erfahrungen durch Projekte in Frankfurt am Main zum Thema Wassersparen durch Baumbewässerung (2020/2021), die Digitalisierung von Bäumen in anderen Kommunen und die Komplettlösung zur Bewässerungsplanung von Sportanlagen.

Das Projekt ist als „Blaupause“ zur Nutzung in Hessen verwendbar. Fragen dazu beantwortet Ihnen der Gesamtprojektleiter gerne. (cgl-pl@iot-masters.de)

1. Klimaveränderungen in den letzten 10 Jahren

In den letzten zehn Jahren hat sich das Klima weltweit signifikant verändert. Diese Veränderungen sind komplex und vielschichtig, beeinflusst durch natürliche und anthropogene Faktoren. Seit Beginn der industriellen Revolution ist die globale Durchschnittstemperatur um etwa 1,2 Grad Celsius gestiegen, wobei ein Großteil dieses Anstiegs in den letzten Jahrzehnten stattgefunden hat. Die letzten zehn Jahre gehören zu den wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen und das Jahrzehnt 2011-2020 wurde von der Weltorganisation für Meteorologie als das wärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen deklariert.

Globale Erwärmung und ihre Treiber

Die Hauptursache für die globale Erwärmung ist die Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre, insbesondere Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Stickoxide (N₂O), die hauptsächlich durch menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe, Landwirtschaft und Entwaldung freigesetzt werden. Diese Gase fangen Wärme in der Atmosphäre ein und führen zu einem Anstieg der globalen Temperaturen, einem Phänomen, das als Treibhauseffekt bekannt ist.

Veränderungen in den Polregionen

Besonders alarmierend sind die Veränderungen in den Polregionen. Das arktische Meereis und die Gletscher weltweit schmelzen schneller als zuvor, was zu einem Anstieg des Meeresspiegels beiträgt. Der Verlust des arktischen Eises ist besonders besorgniserregend, da er das albedo-Phänomen beeinflusst, bei dem Eis und Schnee Sonnenlicht reflektieren. Weniger Eis bedeutet weniger reflektiertes Licht und mehr absorbierte Wärme, was den Erwärmungsprozess weiter beschleunigt.

Extreme Wetterereignisse

Ein weiteres Kennzeichen der letzten Dekade sind die häufigeren und intensiveren extremen Wetterereignisse. Dazu zählen unter anderem starke Hurrikane, Taifune, langanhaltende Dürreperioden und ungewöhnlich schwere Regenfälle, die zu Überschwemmungen führen. Diese Ereignisse haben verheerende Auswirkungen auf die Umwelt und menschliche Gesellschaften und werden durch die Erhöhung der Meerestemperaturen und Veränderungen in der Atmosphäre begünstigt.

Wissenschaftliche Forschung und Prognosen

Wissenschaftliche Forschungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Veränderungen im Klima auch die Zirkulationsmuster der Atmosphäre beeinflussen, was zu unvorhersehbaren Wetterbedingungen führt. Modelle und Prognosen von Klimawissenschaftlern warnen vor einer weiteren Zunahme der globalen Erwärmung, falls keine signifikanten Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen ergriffen werden.

Zusammenfassung

Die Klimaveränderungen der letzten zehn Jahre zeigen deutlich, dass der Klimawandel keine ferne Bedrohung mehr ist, sondern eine unmittelbare Herausforderung, die schnelles und entschlossenes Handeln erfordert. Dieses Jahrzehnt ist entscheidend für die Zukunft des Planeten und die Maßnahmen, die jetzt ergriffen werden, bestimmen die Lebensbedingungen zukünftiger Generationen.

2. Auswirkungen auf die Umwelt

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt sind vielfältig und tiefgreifend. Die letzten zehn Jahre haben eine Verschärfung dieser Effekte gezeigt, die sowohl die terrestrischen als auch die marinen Ökosysteme betreffen. Hier sind einige der wichtigsten Auswirkungen, die in den letzten Jahren beobachtet wurden:

Biodiversitätsverlust

Die Erwärmung des Planeten und die damit einhergehenden veränderten klimatischen Bedingungen stellen eine große Bedrohung für die biologische Vielfalt dar. Viele Arten können sich nicht schnell genug an die sich ändernden Bedingungen anpassen oder ihre traditionellen Lebensräume verlagern. Dies führt zu einem Rückgang der Populationsgrößen und in extremen Fällen zum Aussterben von Arten. Besonders betroffen sind kälteliebende Arten in den Polregionen sowie hochspezialisierte Arten in isolierten Ökosystemen wie Inseln und Gebirgen.

Degradation von Ökosystemen

Wichtige Ökosysteme wie Wälder, Korallenriffe und Mangrovenwälder sind durch den Klimawandel besonders gefährdet. Wälder leiden unter steigenden Temperaturen und veränderten Niederschlagsmustern, was zu häufigeren Waldbränden und Schädlingsausbrüchen führt. Korallenriffe sind empfindlich gegenüber der Erwärmung der Meere und der Versauerung der Ozeane, was zu großflächigen Korallenbleichen und dem Absterben von Riffstrukturen führt. Mangrovenwälder sind durch den Anstieg des Meeresspiegels und die Zunahme starker Stürme bedroht, was ihre Fähigkeit zur Küstenverteidigung und zum Kohlenstoffausgleich beeinträchtigt.

Wasserkreislauf und Wasserverfügbarkeit

Der globale Wasserkreislauf wird durch den Klimawandel intensiv beeinflusst, was zu einer Neudistribution von Süßwasserressourcen führt. Einige Regionen erleben verstärkte Niederschläge und Überschwemmungen, während andere unter extremer Trockenheit leiden. Die Gletscherschmelze in Gebirgsregionen führt zu anfänglich erhöhten Wassermengen in Flüssen, die jedoch langfristig abnehmen werden, da die Gletscher als Wasserquelle verschwinden. Diese Veränderungen haben weitreichende Folgen für die Landwirtschaft, Trinkwasserversorgung und Energieerzeugung durch Wasserkraft.

Bodendegradation und Desertifikation

Die Zunahme von Dürreperioden und die Veränderung von Niederschlagsmustern führen in vielen Teilen der Welt zu einer Verschlechterung der Bodenqualität und zur Ausbreitung von Wüsten. Dies beeinträchtigt die landwirtschaftliche Produktivität und führt zu einer weiteren Degradation der Landschaft, was wiederum die Lebensgrundlage vieler Menschen bedroht, die von der Landwirtschaft abhängig sind.

Veränderungen in den Ozeanen

Die Ozeane absorbieren etwa 30% des vom Menschen produzierten Kohlendioxids, was zur Versauerung der Meeresumwelt führt. Diese chemische Veränderung des Meerwassers hat ernsthafte Auswirkungen auf marine Lebensformen, insbesondere auf Organismen, die Kalkschalen oder -skelette bilden, wie Korallen, Muscheln und einige Planktonarten. Darüber hinaus führt die Erwärmung der Ozeane zu einer Verringerung der Sauerstoffkonzentration im Wasser, was die Lebensbedingungen für viele Meeresbewohner verschlechtert.

3. Herausforderungen für Kommunen

Die Auswirkungen des Klimawandels stellen Kommunen weltweit vor große Herausforderungen. Die Anpassung an die neuen klimatischen Realitäten erfordert umfassende Planungen und Investitionen in die Infrastruktur, um sowohl die kurzfristigen als auch die langfristigen Folgen zu bewältigen. Hier sind einige der zentralen Herausforderungen, mit denen lokale Behörden konfrontiert sind:

Infrastrukturanpassung

Ein zentrales Problem ist die Notwendigkeit, bestehende Infrastrukturen zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Dies betrifft insbesondere die Wasserwirtschaft, da veränderte Niederschlagsmuster und steigende Temperaturen sowohl Wasserknappheit als auch Hochwasserrisiken erhöhen können. Städte müssen ihre Systeme zur Wasseraufbereitung und -verteilung sowie ihre Hochwasserschutzmaßnahmen überdenken und verstärken. Zudem erfordern die Zunahme von Hitzewellen und die Verstädterung eine Anpassung der städtischen Planung um Hitzeinseln zu reduzieren, beispielsweise durch mehr Grünflächen und verbesserte Belüftung der Stadträume.

Energie und Nachhaltigkeit

Die Notwendigkeit zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen zwingt Kommunen, ihre Energiequellen zu diversifizieren und nachhaltige Alternativen zu fördern. Dies beinhaltet den Ausbau erneuerbarer Energiequellen wie Wind-, Solar- und Wasserkraft sowie die Implementierung von Energieeffizienzmaßnahmen in öffentlichen und privaten Gebäuden. Darüber hinaus müssen Städte Konzepte entwickeln, um den öffentlichen und privaten Verkehr umweltfreundlicher zu gestalten, etwa durch die Förderung von Elektromobilität und den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs.

Soziale und gesundheitliche Aspekte

Klimaveränderungen haben direkte und indirekte Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung. Kommunen stehen vor der Aufgabe, die öffentliche Gesundheitsinfrastruktur zu stärken, um auf erhöhte Risiken durch Hitzewellen, neue Krankheitserreger und verschlechterte Luftqualität reagieren zu können. Dies umfasst auch präventive Maßnahmen und die Aufklärung der Bevölkerung über gesundheitliche Risiken durch den Klimawandel.

Wirtschaftliche Diversifikation

Viele lokale Wirtschaftssysteme sind stark von klimasensitiven Sektoren wie der Landwirtschaft, dem Tourismus und der Fischerei abhängig. Kommunen müssen Strategien entwickeln, um ihre Wirtschaft zu diversifizieren und widerstandsfähiger gegen klimatische Schwankungen zu machen. Dies kann durch die Förderung von Innovationen, die Unterstützung von Start-ups in neuen Technologiebereichen und die Anziehung von Investitionen in weniger klimaabhängige Branchen erfolgen.

Bildung und Bewusstseinsbildung

Eine der wichtigsten langfristigen Strategien zur Bewältigung des Klimawandels ist die Bildung und Sensibilisierung der Bevölkerung. Kommunen können durch Bildungsprogramme in Schulen und öffentlichen Kampagnen das Bewusstsein und Verständnis für die Ursachen und Folgen des Klimawandels verbessern. Dies fördert nicht nur die individuelle Anpassungsfähigkeit, sondern auch die gesellschaftliche Unterstützung für notwendige politische Maßnahmen.

Zusammenfassung

Die Herausforderungen des Klimawandels für Kommunen sind umfangreich und erfordern eine integrative Planung und Kooperation auf mehreren Verwaltungsebenen. Durch proaktive Anpassungsstrategien und Investitionen in nachhaltige Technologien können Kommunen nicht nur die Risiken minimieren, sondern auch die Lebensqualität ihrer Bürger langfristig sichern und verbessern.

4. Bewässerung von Städtischen Bäumen

In der städtischen Umwelt spielen Bäume eine entscheidende Rolle für das ökologische Gleichgewicht, die Lebensqualität und die ästhetische Aufwertung der Stadtlandschaft. Doch Stadtbäume stehen vor vielen Herausforderungen, nicht zuletzt durch die zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels, die urbane Hitzeinseln verstärken und Wasserknappheit fördern. Eine effektive Bewässerung ist daher essenziell, um die Gesundheit und Vitalität dieser wichtigen grünen Ressourcen zu erhalten. Dieser Artikel behandelt die Notwendigkeit, Methoden und Vorteile der Bewässerung von Stadtbäumen aus einer kommunalen Perspektive.

Notwendigkeit der Bewässerung von Stadtbäumen

Stadtbäume leiden häufig unter einem unzureichenden natürlichen Wasserangebot, was durch die versiegelten Flächen wie Straßen und Gehwege verschärft wird. Diese versiegelten Oberflächen verhindern, dass Regenwasser natürlich in den Boden einsickert, wodurch Bäume einem erhöhten Stress durch Trockenheit ausgesetzt sind. Zudem führt die urbane Wärmeinselwirkung zu höheren Temperaturen in Städten, was den Wasserbedarf der Bäume weiter erhöht. Die Bewässerung ist daher nicht nur eine Frage der Pflege, sondern auch des Überlebens dieser Bäume.

Methoden der Bewässerung von Stadtbäumen

Die Bewässerung von Stadtbäumen kann auf verschiedene Weisen erfolgen, je nach verfügbaren Ressourcen, städtischer Infrastruktur und spezifischen Bedürfnissen der Baumarten. Hier sind einige verbreitete Methoden:

1. Tropfbewässerung: Diese Methode ist effizient und wassersparend. Sie liefert Wasser direkt an die Wurzeln des Baumes durch ein Netzwerk von Schläuchen oder Rohren. Dies minimiert Verdunstung und Wasserverlust und ist ideal für dicht bebaute Gebiete. In Lampertheim und auch anderen Städten wurden Bänke für die Bewässerung in öffentlichen Parks aufgebaut. Die Bänke sind digital gesteuerte Tanks (bspw. 800 Liter von AWATREE), die bei durch Sensoren erkannter Trockenheit automatisiert umliegende Bäume bewässern, indem Ventile geöffnet werden. Die Installation ist denkbar einfach und außerdem bietet die Bank den Bürgern Sitzgelegenheiten.

2. Bewässerungssäcke: Häufig sieht man Bewässerungssäcke direkt am Baumstamm. Fallstudien in den Städten New York, Chicago und London und Arboristen sprechen sich in ihren Vorträgen gegen diese gängige Praxis und empfehlen einen regelmäßigen Positionswechsel der Bewässerungssäcke. Für Jungbäume empfiehlt sich der wöchentliche Positionswechsel und ein Abstand von etwa 30cm vom Stamm. Im Allgemeinen werden bei Trockenheit Intervalle von 2-4 Wochen und eine Positionierung am Rand der Baumkrone empfohlen.

Aus Sicht der Bäume hat der Positionswechsel mehrere wichtige Vorteile:

- gleichmäßige Wasser- und Nährstoffversorgung
- fördert ein tiefes und stabiles Wurzelsystem
- verhindert Staunässe und Bodenerosion
- erhöht die Trockenheitsresistenz sowie die allgemeine Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Bäume.

Vorteile von Bewässerungssäcken

Effiziente Wasserverteilung: Bewässerungssäcke sorgen für eine langsame und gleichmäßige Freisetzung von Wasser, die eine tiefe Wasserdurchdringung direkt an den Wurzeln ermöglicht. Dies fördert ein starkes Wurzelwachstum und reduziert Wasserverlust durch Oberflächenabfluss oder Verdunstung.

Zeitersparnis und Benutzerfreundlichkeit: Einmal gefüllt, können die Säcke über mehrere Stunden autonom arbeiten, ohne dass eine ständige Überwachung nötig ist. Dies ist

besonders vorteilhaft für kommunale Dienste oder Hausbesitzer, die nicht die Zeit haben, regelmäßig zu gießen.

Wassereinsparung: Durch die gezielte Freisetzung von Wasser direkt am Baumstamm wird der Wasserverbrauch minimiert, was in Zeiten von Wasserknappheit oder in trockenen Regionen besonders wichtig ist.

Schutz vor Überwässerung und Erosion: Da das Wasser langsam freigesetzt wird, wird das Risiko von Überwässerung und Bodenerosion verringert, was bei herkömmlichen Gießmethoden oft ein Problem darstellen kann.

Geringere Arbeitsbelastung: Für die Pflege von städtischen Baumbeständen bedeutet die Verwendung von Bewässerungssäcken eine erhebliche Arbeitersparnis, da weniger häufig gegossen werden muss und die Wassermenge leicht zu kontrollieren ist.

Nachteile von Bewässerungssäcken

Kosten: Bewässerungssäcke können teuer in der Anschaffung sein, besonders wenn viele Bäume zu versorgen sind. Die anfänglichen Kosten für die Ausrüstung können für manche Budgets eine Hürde darstellen.

Ästhetik: Einige Menschen finden, dass Bewässerungssäcke nicht besonders ansprechend aussehen, besonders in gut sichtbaren oder ästhetisch sensiblen Bereichen.

Wartung und Langlebigkeit: Bewässerungssäcke können beschädigt werden, vor allem wenn sie UV-Strahlung ausgesetzt sind oder mechanische Beanspruchung erfahren. Sie müssen regelmäßig auf Lecks oder Schäden überprüft und gegebenenfalls ersetzt werden. Auch eine Verstopfung des Auslasses ist möglich.

Risiko von Stammfäule: Wenn Bewässerungssäcke zu lange am Stamm eines Baumes belassen werden, insbesondere wenn sie ständig nass sind, kann dies zu Stammfäule führen. Es ist wichtig, dass die Säcke zwischen den Bewässerungszyklen austrocknen und der Baumstamm geprüft wird.

Begrenztes Wurzelwachstum: Bei Verwendung am Stamm treibt der Jungbaum seine Wurzeln mittig und nicht tief und genug. Nach Entfernung des Wassersackes ist er mitunter nicht in der Lage sich selbstständig mit ausreichend Wasser zu versorgen, selbst wenn es in den umliegenden Bodenregionen zur Verfügung steht.

Begrenzte Einsatzmöglichkeiten: Bewässerungssäcke sind hauptsächlich für junge oder neu gepflanzte Bäume geeignet und weniger effektiv oder praktisch für größere oder etablierte Bäume.

Automatisierte Sprinklersysteme

In Parks oder größeren Grünflächen können automatisierte Sprinklersysteme eingesetzt werden, die große Bereiche effektiv abdecken können. Diese Systeme können zeitlich so

programmiert werden, dass sie in den frühen Morgen- oder späten Abendstunden laufen, um den Wasserverlust durch Verdunstung zu minimieren.

Mulchen

Obwohl nicht direkt eine Bewässerungsmethode, kann Mulchen eine wichtige Rolle beim Wassermanagement für Stadtbäume spielen. Eine Schicht aus organischem Material wie Rindenmulch kann helfen, die Feuchtigkeit im Boden zu bewahren und die Temperatur des Bodens zu regulieren.

Neue Erkenntnisse deuten darauf hin, dass Kegelmulchen positiv sein kann, sofern es richtig zu Anwendung kommt. Durch das Einhalten von Abstand zum Stamm und einer angemessenen Mulchtiefe können die Vorteile des Mulchens genutzt werden, ohne die Gesundheit des Baumes zu gefährden.



Abbildung 1 gemulchter Baum ohne Abstand zum Stamm

Vorteile des Mulchens

Feuchtigkeitserhalt: Mulch hilft, die Feuchtigkeit im Boden zu bewahren, indem er die Verdunstungsrate reduziert. Dies ist besonders während trockener Perioden vorteilhaft und kann den Wasserbedarf der Pflanzen verringern.

Temperaturregulierung: Durch die Isolierung des Bodens kann Mulch dazu beitragen, die Bodentemperatur konstanter zu halten. Im Sommer hält er den Boden kühler und im Winter kann er die Wurzeln vor Frost schützen.

Unkrautunterdrückung: Eine Mulchschicht kann das Wachstum von Unkräutern hemmen, indem sie lichtempfindliche Unkrautsamen daran hindert zu keimen. Dies spart Arbeit und vermindert die Notwendigkeit von Herbiziden.

Bodenverbesserung: Organischer Mulch zersetzt sich im Laufe der Zeit und fügt dem Boden wichtige Nährstoffe hinzu. Dies verbessert die Bodenstruktur, fördert das Wachstum nützlicher Mikroorganismen und kann die allgemeine Bodenfruchtbarkeit erhöhen.

Erosionsschutz: Mulch kann helfen, den Boden vor Erosion durch Wind und Wasser zu schützen. Er reduziert den Aufprall von Regentropfen direkt auf den Boden und hält den Boden an Ort und Stelle.

Ästhetik: Mulch kann das Erscheinungsbild von Gartenbeeten verbessern, indem er einen einheitlichen, gepflegten Look bietet und farbliche Akzente setzt.

Nachteile des Mulchens

Kosten und Arbeitsaufwand: Das Aufbringen von Mulch kann kostspielig sein, besonders in großen Gärten oder Parks. Zudem muss Mulch regelmäßig erneuert werden, da er sich im Laufe der Zeit zersetzt oder verblasst.

Übermulchen: Zu viel Mulch kann schädlich sein, insbesondere wenn er zu nah am Stamm von Pflanzen oder Bäumen aufgehäuft wird. Dies kann zu Stammfäule führen und Schädlingen oder Krankheiten einen idealen Nährboden bieten.

Ungeeignete Materialien: Nicht alle Mulch Materialien sind für jeden Bodentyp oder jede Pflanze geeignet. Einige organische Mulche können Stickstoff im Boden binden und somit jungen Pflanzen wichtige Nährstoffe entziehen. Anorganische Mulche wie Stein oder Gummi verbessern nicht die Bodenqualität und können die Bodentemperatur erhöhen.

Schädlingsprobleme: Einige Mulch Typen können Schädlinge anziehen oder beherbergen. Holz Mulch beispielsweise kann für Termiten attraktiv sein und feuchter Mulch kann ein idealer Lebensraum für Schnecken und Pilze sein.

Schlechte Wasserdurchlässigkeit: Besonders dichte oder fein gemahlene Mulche können eine Barriere für Wasser bilden, das schwer in den Boden eindringt. Dies kann die Wasserversorgung der Pflanzen beeinträchtigen.

4.1 Vorteile der Bewässerung von Stadtbäumen

Die gezielte Bewässerung von Stadtbäumen bietet zahlreiche Vorteile. Zunächst verbessert sie die Gesundheit und Lebensdauer der Bäume, was direkt zu einer höheren Widerstandsfähigkeit gegen Schädlinge und Krankheiten führt. Gesunde Bäume können mehr Schadstoffe aus der Luft filtern, mehr Sauerstoff produzieren und effektiver zur Reduzierung der städtischen Hitze beitragen.

Darüber hinaus steigern gut gepflegte und bewässerte Bäume die ästhetische Qualität städtischer Landschaften, was sich positiv auf das Wohlbefinden der Stadtbewohner und den Wert von Immobilien auswirkt. Sie dienen als natürliche Schallbarrieren, verbessern die biologische Vielfalt und fördern das städtische Grün, was die Lebensqualität in städtischen Gebieten erheblich erhöht.

Städtische Bäume tragen signifikant zur Verbesserung der Lebensqualität in urbanen Gebieten bei, indem sie Luftqualität, Schatten und ästhetische Werte liefern. Die manuelle Bewässerung dieser Bäume, in unseren Kommunen oft mit einer Standardmenge von etwa 70 Litern Wasser pro Baum, stellt jedoch eine Herausforderung dar, besonders in Hinblick auf Effizienz und Wassermanagement.

Kosteneinsparungen durch effiziente manuelle Bewässerung

Optimierung des Wasserverbrauchs

Eine gezielte Bewässerung von Stadtbäumen ermöglicht eine signifikante Optimierung des Wasserverbrauchs. Durch den Einsatz effizienter Bewässerungstechnologien wie Tropfbewässerungssysteme oder wassersparende Gießtechniken kann der Wasserbedarf präzise gesteuert werden. Diese Systeme liefern das Wasser direkt an die Wurzeln der

Bäume und reduzieren so die Verdunstung und den Abfluss von Wasser. Dadurch wird weniger Wasser verschwendet, was insbesondere in wasserarmen Regionen von großer Bedeutung ist. Zudem können die Wasserkosten erheblich gesenkt werden, da die genaue Menge an benötigtem Wasser verwendet wird. Insgesamt trägt die Optimierung des Wasserverbrauchs nicht nur zur Kosteneinsparung bei, sondern auch zur nachhaltigen Nutzung der wertvollen Ressource Wasser, was langfristig auch den ökologischen Fußabdruck der Stadt verringert.

Effizientere Nutzung der Arbeitskräfte

Durch die gezielte Bewässerung von Stadtbäumen kann die Effizienz der Arbeitskräfte erheblich gesteigert werden. Der Einsatz moderner Bewässerungstechnologien und -hilfsmittel, wie beispielsweise teilautomatisierte Gießfahrzeuge oder eine Gießroutenplanung, reduziert den physischen Aufwand und die Zeit, die für die manuelle Bewässerung erforderlich ist. Die exakte Planung und Dokumentation der präzisen Wasserabgabe reduziert die Arbeitskosten, da weniger Personalstunden für die Bewässerung benötigt werden. Gleichzeitig können die Arbeitskräfte für andere wichtige Aufgaben eingesetzt werden, was die Gesamteffizienz der städtischen Grünpflege erhöht.

Verbesserung der Baumgesundheit und Reduzierung langfristiger Kosten

Gezielte Bewässerung trägt entscheidend zur Gesundheit und Vitalität von Stadtbäumen bei. Gesunde Bäume sind widerstandsfähiger gegen Krankheiten und Schädlinge, was die Notwendigkeit für teure Behandlungen und Pflegearbeiten reduziert. Langfristig senkt dies die Kosten, da weniger Mittel für die Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen sowie für den Ersatz abgestorbener Bäume aufgewendet werden müssen. Zudem verbessern gesunde Bäume die städtische Umwelt, indem sie mehr Sauerstoff produzieren, die Luftqualität verbessern und zur Temperaturregulierung beitragen. Diese positiven Effekte führen zu einer höheren Lebensqualität in städtischen Gebieten und können indirekt auch wirtschaftliche Vorteile durch geringere Gesundheitskosten und eine attraktivere Stadtlandschaft schaffen. Insgesamt fördert die gezielte Bewässerung die nachhaltige Pflege und den Erhalt städtischer Grünflächen und spart dabei langfristig Kosten ein.

Vorteile für die Umwelt

Verbesserung der Luftqualität

Gezielte Bewässerung von Stadtbäumen trägt erheblich zur Verbesserung der Luftqualität bei. Bäume nehmen während der Photosynthese Kohlendioxid (CO₂) auf und setzen Sauerstoff (O₂) frei, was zu einer Erhöhung des Sauerstoffgehalts und einer Reduktion des CO₂-Gehalts in der Luft führt. Zusätzlich filtern Bäume Schadstoffe wie Feinstaub, Stickoxide und Schwefeldioxid aus der Luft, was die Luftqualität in städtischen Gebieten deutlich verbessert. Durch eine gezielte und ausreichende Bewässerung wird sichergestellt, dass Bäume gesund bleiben und ihre maximale Filterkapazität erreichen. Dies führt zu einer saubereren und gesünderen Luft, die das Wohlbefinden und die Gesundheit der Stadtbewohner fördert. Langfristig trägt dies auch zur Reduktion von durch Luftverschmutzung verursachten Krankheiten und Gesundheitskosten bei, was sowohl Individuelle als auch gesellschaftliche Vorteile bietet.

Förderung der Biodiversität

Gezielte Bewässerung unterstützt die Gesundheit und das Wachstum städtischer Bäume, was wiederum zur Förderung der Biodiversität beiträgt. Gesunde Bäume bieten Lebensraum und Nahrungsquellen für eine Vielzahl von Tieren, einschließlich Vögeln, Insekten und kleinen Säugetieren. Durch die Bereitstellung eines stabilen und feuchten Mikroklimas fördern Bäume die Ansiedlung und das Überleben dieser Arten in städtischen Umgebungen. Eine hohe Biodiversität trägt zur Stabilität und Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen bei, da verschiedene Arten unterschiedliche Rollen spielen und sich gegenseitig unterstützen. Dies hilft auch, städtische Grünflächen widerstandsfähiger gegenüber Umwelteinflüssen wie Klimawandel und Schadstoffbelastung zu machen. Insgesamt trägt die gezielte Bewässerung städtischer Bäume zur Schaffung und Erhaltung vielfältiger und gesunder städtischer Ökosysteme bei.

Reduktion von Hitzeinseln

Städtische Hitzeinseln entstehen, wenn dicht bebaute und versiegelte Flächen wie Asphalt und Beton die Sonnenwärme absorbieren und speichern, was zu höheren Temperaturen in Städten führt. Bäume tragen zur Reduktion dieser Hitzeinseln bei, indem sie Schatten spenden und durch Transpiration die Luft abkühlen. Gezielt bewässerte Bäume sind besonders effizient in der Transpiration, da sie genügend Wasser zur Verdunstung haben, was die Umgebungstemperatur senkt. Eine ausgewachsene Buche transpiriert etwa 600 Liter Wasser täglich. Dies führt zu einer spürbaren Abkühlung in städtischen Gebieten, was den Energieverbrauch für Klimaanlagen reduziert und somit die CO₂-Emissionen verringert. Darüber hinaus verbessert die kühlere Umgebung die Lebensqualität der Stadtbewohner und macht städtische Räume angenehmer und nutzbarer, insbesondere während heißer Sommermonate.

Schutz des Bodens und Wasserhaushalts

Gezielte Bewässerung von Stadtbäumen trägt zum Schutz des Bodens und zur Stabilisierung des Wasserhaushalts bei. Bäume mit ausreichender Wasserversorgung haben tiefere und stärkere Wurzelsysteme, die den Boden festigen und Erosion verhindern. Dies ist besonders wichtig in städtischen Gebieten, wo versiegelte Flächen das natürliche Wasserabflussverhalten stören können. Gesunde Bäume helfen, überschüssiges Wasser aufzunehmen und in den Boden zu leiten, wodurch die Grundwasservorräte aufgefüllt und Überschwemmungen reduziert werden. Außerdem tragen sie dazu bei, die Bodenqualität zu verbessern, indem sie organisches Material und Nährstoffe liefern, die die Bodengesundheit fördern. Insgesamt unterstützt die gezielte Bewässerung städtischer Bäume die Erhaltung und Verbesserung der Boden- und Wasserressourcen, was für die nachhaltige Stadtentwicklung von entscheidender Bedeutung ist.

4.2 Der Aufbau von Baumscheiben

Städtische Bäume spielen eine wesentliche Rolle bei der Verbesserung der Lebensqualität in urbanen Gebieten. Sie bieten Schatten, verbessern die Luftqualität und tragen zur ästhetischen Gestaltung bei. Um ihre Gesundheit und ihr Wachstum zu fördern, ist der korrekte Aufbau von Baumscheiben entscheidend.

Eine Baumscheibe ist ein unversiegelter Bereich rund um den Stamm eines städtischen Baumes, der sowohl die Gesundheit des Baumes unterstützt als auch die Umgebung ästhetisch aufwertet. Der Aufbau einer Baumscheibe umfasst mehrere wichtige Komponenten:

Bodenbelag: Die Oberfläche der Baumscheibe besteht oft aus einem durchlässigen Material wie Mulch, Rindenhäcksel oder speziellen Pflastersteinen. Diese Materialien lassen Wasser und Luft zu den Wurzeln gelangen, verhindern aber gleichzeitig Unkrautwuchs.

Bodenbeschaffenheit: Der Boden innerhalb der Baumscheibe sollte locker und nährstoffreich sein. Oft wird eine Mischung aus Gartenerde, Kompost und Sand verwendet, um eine gute Drainage und ausreichende Nährstoffzufuhr zu gewährleisten.

Bewässerung: Ein Bewässerungssystem kann integriert sein, um die Wurzeln regelmäßig mit Wasser zu versorgen. Besonders in städtischen Umgebungen ist dies wichtig, da der natürliche Wasserfluss oft durch Asphalt und Beton eingeschränkt ist.

Wurzelraum: Die Baumscheibe sollte groß genug sein, um dem Baum genügend Raum für das Wurzelwachstum zu bieten. Ein Durchmesser von mindestens einem Meter für einen Jungbaum, wobei größere Baumscheiben bevorzugt werden sollten, wenn der Platz es erlaubt.

Schutzmaßnahmen: Um den Baum vor mechanischen Schäden zu schützen, kann die Baumscheibe mit einem Randstein oder einer kleinen Umzäunung versehen werden. Dies verhindert, dass Fahrzeuge oder Fußgänger den empfindlichen Wurzelbereich beschädigen.

Der richtige Aufbau und die Pflege von Baumscheiben tragen wesentlich zur Langlebigkeit und Gesundheit städtischer Bäume bei und verbessern gleichzeitig das Stadtbild.

Größe der Baumscheiben

Die Größe der Baumscheibe sollte proportional zur Größe des Baumes sein. Eine ausreichend große Baumscheibe ermöglicht es den Wurzeln, sich auszubreiten und Zugang zu Wasser und Nährstoffen zu erhalten. Für junge oder neu gepflanzte Bäume wird empfohlen, eine Baumscheibe mit einem Durchmesser von mindestens 1,2 bis 1,5 Metern anzulegen. Bei größeren oder ausgewachsenen Bäumen sollte der Durchmesser der

Baumscheibe mindestens so groß sein wie die Breite der Baumkrone. Dies stellt sicher, dass der Baum ausreichend Raum für Wachstum hat und die Wurzeln nicht durch den umgebenden Boden oder Beton eingeschränkt werden.

Aufbau der Baumscheiben

Der Aufbau einer Baumscheibe beginnt mit der Auswahl des richtigen Standortes und der Bodenvorbereitung. Der Boden sollte tiefgründig gelockert und von Unrat, wie Steinen oder Bauschutt, befreit werden, um eine gute Wurzelentwicklung zu fördern. Es ist auch wichtig, dass der Boden eine ausgewogene Mischung aus Sand, Lehm und organischem Material enthält, um eine gute Drainage und ausreichend Nährstoffe zu gewährleisten.

Ein wesentliches Element beim Aufbau der Baumscheibe ist das Anlegen einer Gießmulde. Diese Mulde dient dazu, das Wasser direkt zu den Wurzeln zu leiten und sicherzustellen, dass es nicht abfließt oder verdunstet, bevor es vom Baum aufgenommen werden kann. Die Gießmulde sollte rund um den Stamm angelegt werden, jedoch nicht direkt an der Stammbasis, um Staunässe zu vermeiden, die zu Fäulnis führen kann.

Gießringe und Gießmulden

Gießringe sind erhöhte Erdwälle oder speziell gestaltete Ringe aus verschiedenen Materialien, die um die Baumscheibe herum angelegt werden. Sie helfen dabei, das Bewässerungswasser gezielt in die Baumscheibe zu leiten. Der Gießring sollte breit genug sein, um das Wasser zurückzuhalten und tief genug, um ein Überlaufen bei stärkerem Gießen oder Regen zu verhindern. Bei der Anlage von Gießmulden sollte darauf geachtet werden, dass sie eine leichte Neigung nach innen haben, damit das Wasser zum Baumstamm fließt und nicht in die umliegende Landschaft abgeleitet wird.

Drainage

Eine effektive Drainage ist entscheidend, um Wasseransammlungen und die daraus resultierenden Wurzelschäden zu vermeiden. Der Boden in der Baumscheibe sollte so beschaffen sein, dass überschüssiges Wasser leicht abfließen kann. Bei schweren Böden kann eine Drainageschicht aus Kies oder gebrochenem Stein am Boden der Baumscheibe eingefügt werden. Dies hilft, Wasser abzuleiten und die Wurzelgesundheit zu erhalten.

Materialien und Mulchen

Es ist empfehlenswert, organische Mulche wie Holzspäne oder Rindenmulch in der Baumscheibe zu verwenden. Mulch hilft, die Feuchtigkeit im Boden zu halten, unterdrückt das Wachstum von Unkraut und bietet Nährstoffe, wenn er sich zersetzt. Der Mulch sollte jedoch nicht direkt gegen den Baumstamm aufgetragen werden, um das Risiko von Stammfäulnis.

5. LoRaWAN - Netzwerk

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) ist eine moderne Funktechnologie, die speziell für das Internet der Dinge (IoT) entwickelt wurde. Sie ermöglicht es, kleine Datenmengen über lange Distanzen hinweg zu übertragen, bei gleichzeitig sehr geringem Energieverbrauch. LoRaWAN nutzt lizenzfreie Frequenzbänder, was die Kosten für die Datenübertragung reduziert und den Einsatz in vielen unterschiedlichen Bereichen praktikabel macht.

LoRaWAN stellt eine Schlüsseltechnologie für Kommunen dar, um auch die Herausforderungen der städtischen Bewässerung zu bewältigen. Durch seine hohe Reichweite, geringen Betriebskosten und die Möglichkeit, große Netzwerke effizient zu managen, ist es ideal geeignet, um die Pflege städtischer Grünflächen und insbesondere junger Bäume zu optimieren. Mit LoRaWAN können Städte nicht nur finanzielle und operative Effizienz steigern, sondern auch einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leisten.

Technische Grundlagen

Die Technologie basiert auf dem LoRa-Modulationsverfahren, das eine hohe Durchdringungsfähigkeit bietet – ideal für urbane oder geografisch herausfordernde Umgebungen. LoRaWAN-Netzwerke sind in der Regel in einem Stern-von-Stern-Netzwerk aufgebaut, bei dem Endgeräte über ein Gateway mit einem zentralen Netzwerkserver kommunizieren. Dieser Aufbau unterstützt die bidirektionale Kommunikation, was bedeutet, dass Sensoren nicht nur Daten senden, sondern auch Steuerbefehle empfangen können.

Anpassungsfähigkeit und Skalierbarkeit

Ein wesentlicher Vorteil von LoRaWAN ist seine Skalierbarkeit. Kommunen können mit wenigen Sensoren und einem Gateway beginnen und das Netzwerk nach Bedarf erweitern. Die Technologie unterstützt Tausende von Endgeräten pro Gateway, wodurch die Kosten pro Einheit mit der Netzwerkgröße deutlich sinken.

Geringer Energieverbrauch

Die Endgeräte in einem LoRaWAN-Netzwerk sind in der Regel batteriebetrieben, wobei die Batterielebensdauer bis zu zehn Jahre betragen kann. Dies ist möglich durch den niedrigen Energiebedarf der LoRa-Modulation und den effizienten Betrieb des Netzwerks, welcher die Kommunikationszeiten minimiert und so den Energieverbrauch optimiert.

Einsatzmöglichkeiten in kommunalen Bewässerungssystemen

In der kommunalen Grünflächenpflege und insbesondere bei der Bewässerung junger Bäume können LoRaWAN-basierte Sensoren zur Überwachung verschiedener Umweltparameter wie Bodenfeuchtigkeit, Temperatur und mehr eingesetzt werden. Diese Daten helfen den Stadtverwaltungen den Wasserverbrauch zu optimieren und die Gesundheit der Bäume sicherzustellen.

Vorteile von LoRaWAN für Kommunen

Kosteneffizienz

Die Nutzung von LoRaWAN kann zu erheblichen Kosteneinsparungen führen. Einerseits durch die Reduzierung des Wasserverbrauchs, da die Bewässerung gezielter und bedarfsgerechter erfolgen kann. Andererseits sinken die Betriebskosten durch die lange Lebensdauer der Batterien und die geringen Wartungsanforderungen des Systems.

Verbesserte Ressourcennutzung

Durch präzise Daten, die durch die Sensoren geliefert werden, können kommunale Bauhöfe ihren Ressourceneinsatz besser planen. Die genaue Kenntnis über den Zustand der Böden und die Wetterbedingungen ermöglicht es, Bewässerungsmaßnahmen effizient zu planen und durchzuführen, was nicht nur Wasser spart, sondern auch die Arbeitszeit optimiert.

6. Ausgangslage in unseren Kommunen

Die Ausgangslage und auch die Prozesse und Werkzeuge in unseren Kommunen sind unterschiedlich. Unser Projekt sorgt schon im Vorfeld für den Austausch untereinander und ist eine gemeinschaftliche Basis für die zukünftige Vorgehensweise bei der Bewässerung.

Grafische Erfassung und Installation von Referenzbäumen

Um den spezifischen Bedürfnissen der Kommunen bezüglich der Anzahl und Art der Referenzbäume sowie der daraus abgeleiteten Gruppen bewässerter Bäume gerecht zu werden, wurden alle Bäume kartografisch auf Grundlage einer OpenStreetMap erfasst. Diese detaillierten Karten (siehe Abbildungen 6.1-6.3) bieten eine umfassende Übersicht über die Standorte und Eigenschaften der städtischen Bäume, wodurch eine schnelle Installation durch das beauftragte Gartenbau Unternehmen erfolgen kann.



Abbildung 2 Map Beispiel

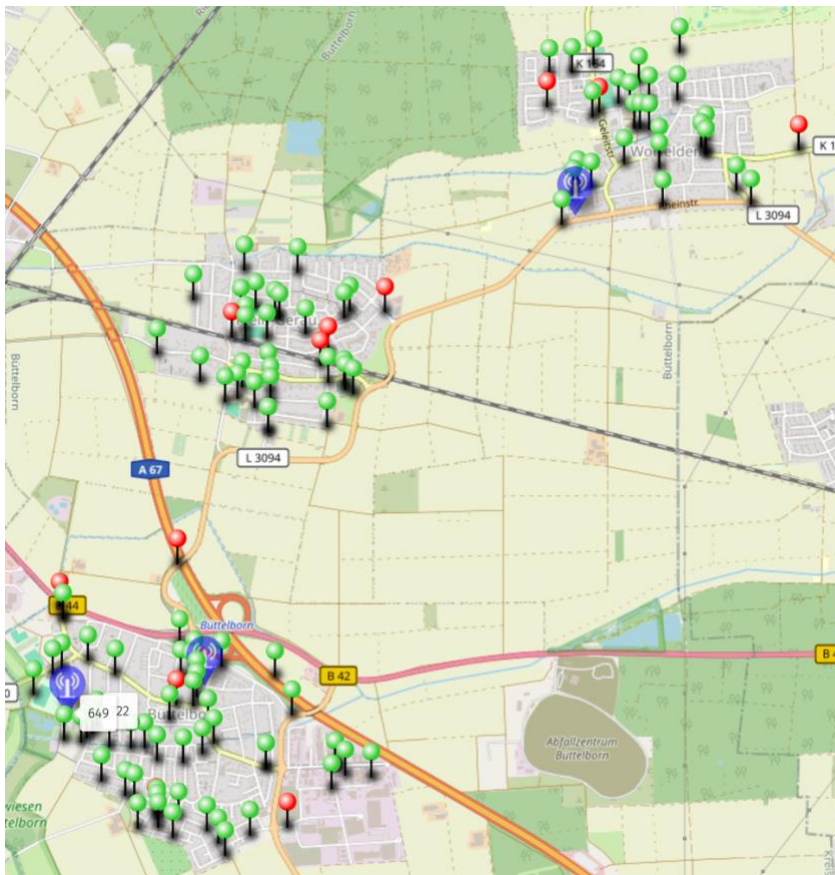
Landschaftsbauunternehmen, die für die Installation beauftragt werden, nutzen diese Karten, um die Standorte der Bäume genau zu lokalisieren. Der Mitarbeiter navigiert zu den Bäumen und installiert die Sensoren basierend auf den in der Karte angegebenen Positionen. Hier wird schon das Modul „Installation“ unserer WebApp verwendet. Der geführte Prozess beschleunigt die Installation der Sensoren, Fehler werden ausgeschlossen und es schon bei der Installation werden alle erforderlichen Daten zum Baum (Baumart, Baumnummer, Messtiefe und ID des Sensors, GPS Position, Foto der Baumscheibe) direkt in der Datenbank der WebApp dokumentiert.

6.1 Büttelborn

Die Gemeinde Büttelborn im Kreis Groß-Gerau steht vor der Herausforderung, eine effiziente und nachhaltige Bewässerungsstrategie für ihre städtischen Bäume zu implementieren. Mit einem bestehenden Kataster und einer detaillierten Arbeitsplanung ist die Grundlage für eine zielgerichtete Umsetzung bereits gelegt.

Nutzung von Klärwasser

In jedem Stadtteil von Büttelborn sind Aufnahmepunkte für Klärwasser eingerichtet, was die Verfügbarkeit von Bewässerungswasser sicherstellt und eine umweltfreundliche Ressourcennutzung fördert. Diese innovative Nutzung von aufbereitetem Abwasser trägt zur Schonung der natürlichen Wasserressourcen bei und stellt eine nachhaltige Lösung für die Bewässerungsbedürfnisse der städtischen Vegetation dar.



Rahmenbedingungen

Gegossen wird mit Klärwasser, Gießarme sind noch nicht vorhanden. In Büttelborn sind die Bäume umfassend in einer digitalen Katastersoftware erfasst, die auch zur Erfassung und Planung der Pflege verwendet wird.

Hardware

Wetterstation

Tablets

Anzahl der Sensoren
(Messtiefen)

- 30 cm
- 60 cm
- 90 cm

Software

WebApp für PC und Tablet

Abbildung 3 GPS Map der Baumstandorte

Baumscheiben mit Drainagesystem

Die Baumscheiben in Büttelborn sind mit einem Drainagesystem ausgestattet, das überschüssiges Wasser effektiv ableitet und so Staunässe verhindert, die zu Wurzelfäule und anderen gesundheitlichen Problemen bei Bäumen führen kann. Diese Maßnahme ist

entscheidend, um die Gesundheit der Bäume zu erhalten und die Effizienz der Wassernutzung zu maximieren.

Für den Einsatz von Boden Sensorik sind die Baumscheiben nur bedingt geeignet.



Diese beiden Baumscheiben sind nicht geeignet, weil sie durch das Gusseisen das Funksignal zu stark dämpfen. Außerdem wäre der Aufwand für die Installation sehr groß.



Bei dieser Art der bedeckten Baumscheibe werden wir die Baumsensoren installieren. Der Aufwand ist etwas größer, weil ein Loch vergrößert werden muss. Diese Bäume finden sich in Neubaugebieten in Büttelborn.

Einsatz von Bodenfeuchtigkeitssensoren

Um eine gezielte und bedarfsgerechte Bewässerung zu gewährleisten, plant die Gemeinde die Installation von etwa 150 Sensoren zur Ermittlung der Bodenfeuchtigkeit. Diese Sensoren werden in den Baumscheiben von 80 sorgfältig ausgewählten Referenzbäumen platziert. Diese Referenzbäume sind so gewählt, dass sie repräsentativ für verschiedene Gruppen von Bäumen stehen, die jeweils zwischen 10 und 50 Individuen umfassen. An den übrigen Bäumen der Gruppen werden keine Sensoren installiert, jedoch ermöglicht die Überwachung der Referenzbäume eine präzise Planung des Bewässerungsbedarfs für die gesamte Gruppe.

Differenzierte Messtiefen

Die Sensoren messen die Bodenfeuchtigkeit in verschiedenen Tiefen – 30 cm, 60 cm und 90 cm. Diese differenzierte Erfassung ermöglicht ein tiefgehendes Verständnis der Bodenwasserverhältnisse und hilft, die Bewässerung genau an den Bedarf der Bäume anzupassen. Durch die Messung in verschiedenen Tiefen können die spezifischen Wasseraufnahmebereiche der Baumwurzeln besser berücksichtigt und die Wassergabe entsprechend optimiert werden.

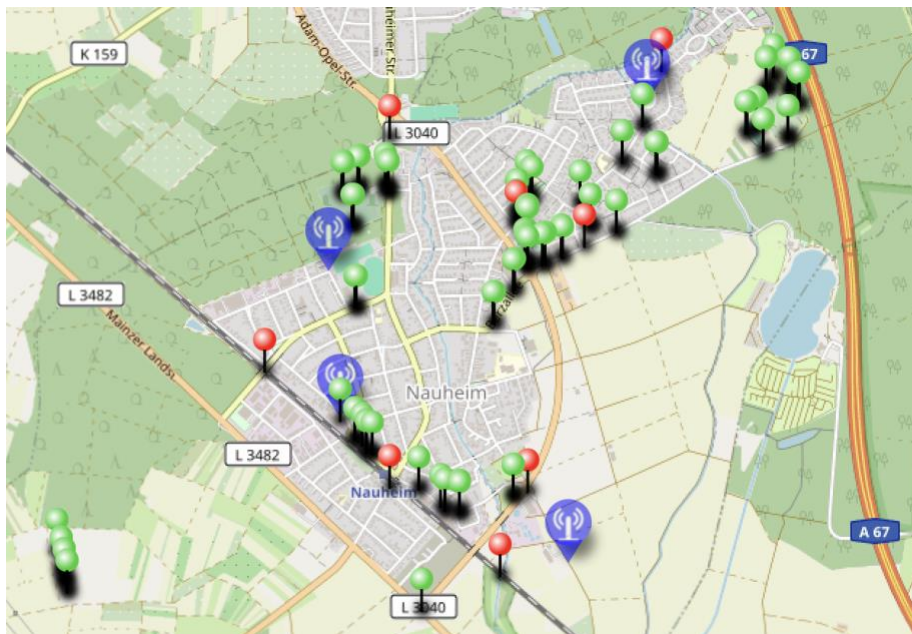
6.2 Nauheim

Aktuelle Situation

Die Gemeinde Nauheim hat bisher kein umfassendes Kataster der Baumbestände, jedoch sind alle Bäume nummeriert, was eine grundlegende Voraussetzung für geplante Pflegemaßnahmen und die Verwaltung der Baumbestände darstellt. Diese Nummerierung der Bäume ermöglicht eine erste Orientierung und Zuordnung für Wartungsarbeiten, obwohl umfassendere Datenbankfunktionen zurzeit fehlen.

Rahmenbedingungen

Gegossen wird mit Klärwasser und Gießarmen. In Nauheim sind die Bäume straßenweise nummeriert. Ein digitales Kataster ist noch nicht vorhanden.



Hardware

Wetterstation

Tablets

Anzahl der Sensoren
(Messtiefen)

- 30 cm
- 60 cm
- 90 cm

Software

WebApp für PC und
Tablet

Zukünftige Planung
mit Ingrada

Abbildung 4 GPS Map der Baumstandorte

Die Einführung der Software "Ingrada" ist geplant, die eine verbesserte Verwaltung und effektivere Überwachung der städtischen Baumbestände ermöglichen wird. "Ingrada" wird dabei helfen, ein digitales Kataster aufzubauen, das detaillierte Informationen über jeden Baum enthält, einschließlich Standort, Zustand und bisherige Pflegemaßnahmen. Dies wird die Planung und Durchführung von Bewässerungs- und Pflegemaßnahmen wesentlich vereinfachen und optimieren.

Bewässerung mit Klärwasser

In Nauheim wird Klärwasser zur Bewässerung verwendet, was eine nachhaltige Nutzung vorhandener Ressourcen darstellt. Dieses System spart nicht nur Trinkwasser, sondern nutzt aufbereitetes Abwasser, um die städtische Flora zu versorgen. Derzeit gibt es einen zentralen Aufnahmepunkt für Klärwasser, der die Versorgung aller städtischen Bereiche ermöglicht.

Gießtechnik und Wassermanagement

Jeder Baum erhält durchschnittlich 70 Liter Wasser pro Gießvorgang. Die Bewässerung wird mit Hilfe eines Gießarms durchgeführt, der eine genaue Dosierung des Wassers ermöglicht. Diese Technik stellt sicher, dass die Wassermenge ausreichend und angepasst an die Bedürfnisse der Bäume ist, während gleichzeitig Wasserverschwendung vermieden wird.

Einsatz von Bodenfeuchtigkeitssensoren

Um die Effizienz der Bewässerung weiter zu steigern, plant die Gemeinde Nauheim die Installation von etwa 150 Sensoren zur Ermittlung der Bodenfeuchtigkeit in den Baumscheiben von 80 sorgfältig ausgewählten Referenzbäumen. Diese Bäume dienen als Indikatoren für die Bodenbedingungen und helfen, den Wasserbedarf für größere Gruppen von Bäumen (10 bis 50 pro Gruppe) zu beurteilen, an denen keine Sensoren installiert sind. Die Sensoren messen die Feuchtigkeit in unterschiedlichen Tiefen (30 cm, 60 cm, und 90 cm), um eine umfassende Analyse der Bodenbedingungen zu ermöglichen.



Abbildung 5 Bild eines Dendrometers in Nauheim

Das Dendrometer wird sorgfältig am Stamm des Baumes positioniert, wobei das Metallband fest am Baum anliegt. Durch die Veränderung des Baumumfangs kommt es zu einer Veränderung der elektrischen Widerstandswerte am Messkopf des Dendrometers, die in direktem linearen Zusammenhang mit dem Wert des Umfangs stehen.

In Nauheim wurden zur Bestimmung von Trockenstress und zur Kalibration der Giessmengen zusätzlich 3 Dendrometer eingesetzt. Diese werden im weiteren Verlauf des Projektes an andere Messorten eingesetzt.

Die Messwerte werden stündlich übertragen, aber durch die sehr geringen Veränderungen würden 6-stündige Intervalle ausreichen.



6.3 Trebur

Die Gemeinde Trebur im Kreis Groß-Gerau steht vor einer umfassenden Planung und Optimierung ihrer städtischen Grünflächenbewässerung. Die aktuelle Situation ist geprägt durch das Fehlen eines Katasters und einer systematischen Nummerierung der Bäume, was die Verwaltung und Überwachung der Baumbestände erschwert.

Nutzung von Klärwasser

Die Gemeinde nutzt Klärwasser zur Bewässerung ihrer städtischen Bäume, eine umweltfreundliche Praxis, die die natürlichen Wasserressourcen schont. In jedem Ortsteil von Trebur ist mindestens ein Aufnahmepunkt für Klärwasser vorhanden, was die Verfügbarkeit von Bewässerungswasser gewährleistet und eine gleichmäßige Verteilung über die verschiedenen Stadtgebiete hinweg ermöglicht. Diese strategische Platzierung der Aufnahmepunkte erleichtert den Bewässerungsvorgang und unterstützt die Nachhaltigkeit der kommunalen Infrastruktur.

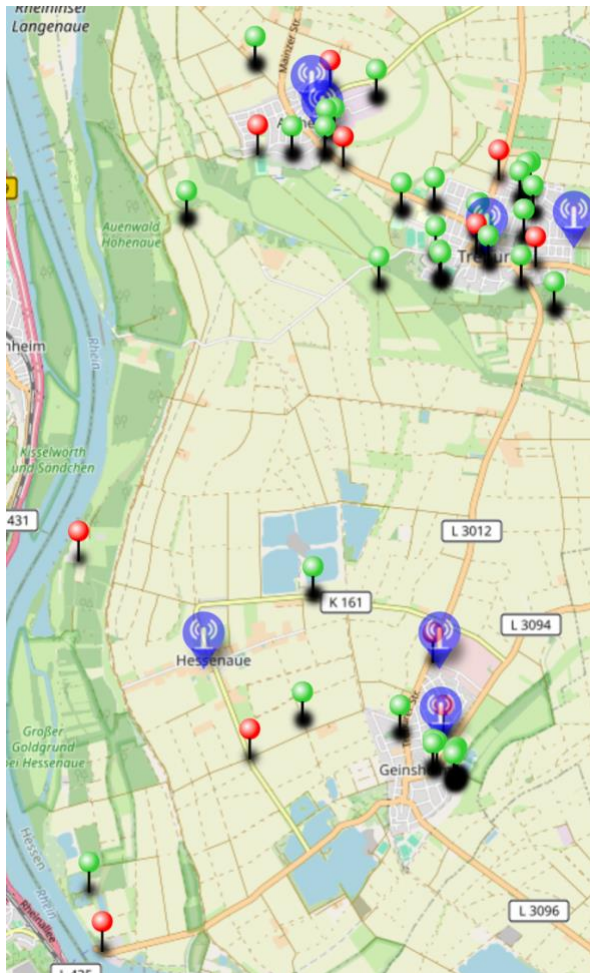


Abbildung 6 GPS Map der Gießbäume

Rahmenbedingungen

Gegossen wird mit Klärwasser und Gießbarmen. Alle Baumscheiben besitzen Gießbringe aus Kunststoff. Ein digitales Kataster ist noch nicht vorhanden.

Hardware

Wetterstation

Tablets

Anzahl der Sensoren (Messtiefen)

- 30 cm
- 60 cm
- 90 cm

Software

WebApp für PC und Tablet

Baumscheiben und Gießringe

In Trebur sind die Baumscheiben mit Gießringen ausgestattet, die eine effiziente und zielgerichtete Wasserversorgung direkt an die Wurzelzone der Bäume ermöglichen. Gießringe sind besonders wirksam in der Vermeidung von Wasserabfluss und fördern eine tiefere Wasserpenetration in den Boden, was die Wasseraufnahme der Bäume verbessert und die Wassereffizienz erhöht.

Bewässerungstechnik

Jeder Baum erhält durchschnittlich 70 Liter Wasser pro Gießvorgang mittels eines Gießarms, der eine präzise Dosierung des Wassers ermöglicht. Diese Methode der Bewässerung gewährleistet eine genaue Kontrolle über die Wassermenge, die jedem Baum zugeführt wird und minimiert gleichzeitig den Wasserverlust durch Verdunstung oder Abfluss.

Einsatz von Bodenfeuchtigkeitssensoren

Um eine datengestützte und effiziente Bewässerungsstrategie zu ermöglichen, plant Trebur die Installation von circa 150 Sensoren zur Ermittlung der Bodenfeuchtigkeit. Diese Sensoren werden in den Baumscheiben von 80 ausgewählten Referenzbäumen installiert. Die Referenzbäume repräsentieren unterschiedliche Gruppen von Bäumen, die jeweils zwischen 10 und 50 Individuen umfassen. An diesen Gruppen werden keine weiteren Sensoren installiert, aber die Daten der Referenzbäume liefern wertvolle Einblicke in den Feuchtigkeitsbedarf und ermöglichen eine gezielte Bewässerung der gesamten Baumgruppe.

Messtiefen der Sensoren

Die Sensoren sind so konzipiert, dass sie die Bodenfeuchtigkeit in verschiedenen Tiefen messen können (30 cm, 60 cm, und 90 cm), abhängig vom spezifischen Bedarf und den Wurzeltiefen der verschiedenen Baumarten. Diese differenzierte Messung ermöglicht es, ein detailliertes Bild des Wasserbedarfs in unterschiedlichen Bodenschichten zu erhalten und die Bewässerung entsprechend anzupassen.

7. Entwicklung der Bewässerungslösung

Zielsetzung des Usecases

Der Fokus liegt auf der Entwicklung einer praxisorientierten Bewässerungslösung, die speziell auf die Anforderungen und Arbeitsweisen der kommunalen Bauhöfe zugeschnitten ist. Die Herausforderung besteht darin, eine skalierbare und flexibel anpassbare Lösung zu entwickeln, die auch in anderen kommunalen Strukturen einsetzbar ist.

Methodik

Die Entwicklung der Bewässerungslösung basiert auf einer engen Zusammenarbeit mit den Fachabteilungen und Endanwendern der Bauhöfe. Workshops mit Stakeholdern aus

verschiedenen Bauhöfen ermöglichen es, spezifische Bedürfnisse und Anforderungen direkt von den Anwendern zu erfahren und in die Lösungsentwicklung einfließen zu lassen.

Ergebnisse und Anpassungen

Die in den Workshops gesammelten Daten führen zu einem tiefen Verständnis der täglichen Herausforderungen und Arbeitsabläufe. Diese Erkenntnisse sind entscheidend für die Anpassung der Technologie an die realen Bedingungen. Feedback und kontinuierliche Rückmeldungen aus der Praxis helfen, die Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit der Lösung zu optimieren.

Akzeptanz der Lösung

Wichtig für uns war, dass die Anwender die Lösung nachher auch akzeptieren. Durch die aktive Mitarbeit bei der Entwicklung erhoffen wir uns eine große Akzeptanz, denn die beste Lösung ist hinfällig, wenn die Menschen sich dagegen wehren.

8. Installation eines Demo-Usecases mit Livedaten

Demo-Usecase (Umfang und Zweck)

Um Erfahrungen mit der Sensorerfassung und den Daten zu sammeln, installierten die Kommunen Büttelborn, Trebur und Nauheim ein innovatives Demo-Projekt schon 4 Wochen nach Beginn des Förderprojektes. Die Demo umfasst die Installation von 15 Bodensensoren, 3 Dendrometern und 2 Wetterstationen zur genaueren Erfassung und Analyse von Umweltdaten und Baumgesundheit. Die Kosten dafür beliefen sich auf unter € 5.000,-.

Für das Förderprojekt Winterdienst wurde eine Sensorik mit Lasermesstechnik (geliehen) und parallel dazu 3 Sensoren (gekauft für etwa € 900,-) zur Ermittlung der Bodentemperaturen durch die Bauhöfe installiert. Im direkten Vergleich der Messungen im Betrieb hat sich die günstige Lösung gegen die teure Lasermessung durchgesetzt, weil die Messungen gleichwertig waren. Durch diese Praxiserfahrungen konnten wir deutliche Einsparungen für die Lösung Winterdienst ermöglichen und haben jetzt bei weniger Ausgaben insgesamt 31 (anstatt der vorher angedachten 3-6) Messorte.



Abbildung 7 Startseite des Demo Dashboards

Im Dashboard wurden beide Usecases kombiniert und zeigen aktuelle und historische Werte aller relevanten Messdaten. Das Dashboard war schnell entwickelt und der Betrieb liegt mit allen Sensoren bei unter € 30,- monatlich.

Vorbereitung

Auswahl der Bäume für die Demo durch Mitarbeiter der Bauhöfe Nauheim, Trebur und Büttelborn. Wir haben Amber (3 Stück), Robinien (1) und eine Kastanie und verschiedene Messtiefen (30, 60, 90cm) gewählt. Zum Einsatz kamen FDR Sensoren zur Messung der Bodenfeuchte und 3 Dendrometer zur Messung und Kalibrierung von Baumstress.

Zielpersonen und Anwender

Die direkten Nutzer dieses Demo-Usecases sind die Mitarbeiter der Bauhöfe in den genannten Kommunen. Diese Pilotinstallation soll es den Mitarbeitern ermöglichen, eigene Prozesse zu überprüfen und auf Basis ihrer Erfahrungen spezifische Anforderungen für eine spätere umfassende Digitalisierungslösung zu formulieren.

Netzwerk

Um eine besonders schnelle Installation zu ermöglichen, wurde ein temporäres LoRaWAN-Netzwerk verwendet. Dieses Netzwerk ist schnell aufgebaut, auch mit mobilen Gateways, die mehrere Kilometer im Umkreis abdecken. Sensoren können zügig und effizient integriert werden. Direkt nach der Installation senden die Sensoren, ohne dass eine aufwändige Konfigurationsarbeit erforderlich ist.

Ein wesentlicher Vorteil des temporären LoRaWAN-Netzwerks ist die flexible Konfiguration der Sensoren über Downlink-Kommandos. Diese Funktion ermöglicht es, die Einstellungen der Sensoren nach der Installation anzupassen, ohne physischen Zugang zu den Geräten zu benötigen. Durch die Nutzung von Downlink-Kommandos können Parameter wie Messintervall, Sendeleistung oder spezifische Sensorfunktionen schnell geändert werden.

Dieses Verfahren ist besonders nützlich in Szenarien, in denen eine schnelle und vorübergehende Sensorinstallation erforderlich ist, beispielsweise um Anpassungen an die Prozesse der Bauhöfe vorzunehmen. Die Fähigkeit, Sensoren schnell einzubinden und nachträglich per Funk zu konfigurieren, spart nicht nur Zeit, sondern reduziert auch die Notwendigkeit für technische Eingriffe vor Ort.

Technische Komponenten der Installation

- Bodensensoren: Insgesamt wurden 15 Bodensensoren in den Boden eingebracht, um kontinuierlich Daten zur Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur zu erfassen. Diese Sensoren sind entscheidend für die Beurteilung des Wasserbedarfs der Bäume und helfen dabei, Bewässerungspläne präziser zu gestalten.
- Dendrometer: Drei Dendrometer werden an ausgewählten Bäumen angebracht, um den Baumstress zu messen. Diese Geräte erfassen Veränderungen im Stammdurchmesser, die auf Wassermangel oder andere Stressfaktoren hinweisen können.

Dashboard für die Anwender

Die Anwender haben ein Dashboard erhalten, das sie über ein Tablet oder PC einsehen können. Dieses Dashboard zeigt ihnen die aktuellen Sensordaten, historische Verläufe und die aktuelle Wettersituation. Mit diesem Tool möchten wir den Mitarbeitern die Möglichkeit bieten, schon im Vorfeld mit den Sensordaten zu arbeiten. Dadurch können sie ihre Prozesse besser auf die neuen digitalisierten



Abbildung 9 Niederschlag und Bodenwerte

Arbeitsmittel abstimmen und Anforderungen an die Digitalisierung stellen.

Das Dashboard bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche, die es den Anwendern erleichtert, relevante Live-Informationen schnell zu erfassen und zu analysieren. Dadurch können die Mitarbeiter fundierte Entscheidungen treffen und ihre Arbeitsabläufe effizienter gestalten. Zudem fördert es die

Zusammenarbeit und den Austausch von Erkenntnissen innerhalb des Teams, was zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Prozesse führt.

Insgesamt unterstützt das Dashboard die Mitarbeiter dabei, sich besser auf die digitalen Arbeitsmittel einzustellen und die Potenziale der Digitalisierung voll auszuschöpfen, um die betriebliche Effizienz und Produktivität zu steigern.

Wissenschaftliche Begleitung

Um die Gesundheit Bäume zu überwachen und die Bewässerung effizient zu gestalten, wird eine wissenschaftliche Begleitung umgesetzt, die die Dendrometer zur Messung des Baumwachstums verwendet. Es wird untersucht, wie Bodenfeuchtigkeit, Bodentemperatur und Lufttemperatur den Stresslevel der Bäume beeinflussen. Das Ziel ist es, zu verstehen, wann Bäume unter Stress geraten und wie lange sie Trockenperioden ohne signifikante Stresssymptome überstehen können. Die Erkenntnisse aus dieser Studie sollen dazu beitragen, Bewässerungsintervalle effektiver zu planen und Wasserressourcen zu schonen.

Kalibrierung von Baumstress durch Dendrometer und Umweltdaten

Dendrometer messen das Wachstum und die Stammumfangsschwankungen von Bäumen, die durch Wasseraufnahme und -verlust verursacht werden. Diese Daten liefern Einblicke in die täglichen und saisonalen Wachstumszyklen der Bäume. Durch die Korrelation dieser Wachstumsdaten mit den gemessenen Umweltbedingungen können Wissenschaftler feststellen, wie unterschiedliche Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen das Baumwachstum beeinflussen. Dies ermöglicht eine präzisere Bestimmung der optimalen Bewässerungszeitpunkte.



Abbildung 8 Übersicht der Bäume

Bestimmung der Stressfaktoren (Wasserstress und Trockentoleranz)

Ein zentrales Ziel der Studie ist es, die Toleranz der Bäume gegenüber Trockenperioden zu bestimmen. Wissenschaftler untersuchen, wie lange Bäume ohne zusätzliche Bewässerung auskommen, bevor sie Stresssymptome wie reduzierte Blattanzahl, Verfärbung oder verminderte Wachstumsgeschwindigkeit zeigen. Diese Untersuchungen helfen dabei, die natürlichen Toleranzgrenzen der Bäume zu verstehen und Bewässerungsstrategien entsprechend anzupassen. Eine Strategie ist es, die Bäume auf die Zeit der Selbstversorgung vorzubereiten, indem man sie gezielt moderatem Trockenstress aussetzt, damit sie sich an weniger verfügbares Wasser gewöhnen.

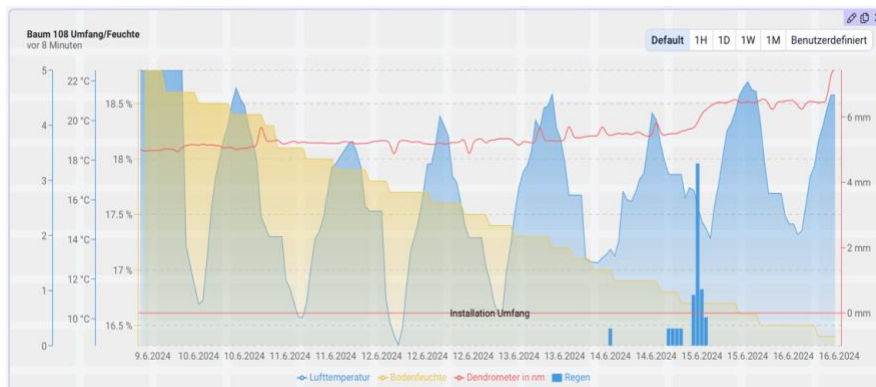


Abbildung 10 Baum 108 in Nauheim

In den 3 Charts ist der Fokus auf der roten Linie, die den Baumumfang darstellt. Man sieht gut die Einwirkung von Regen auf den Umfang aller 3 Bäume

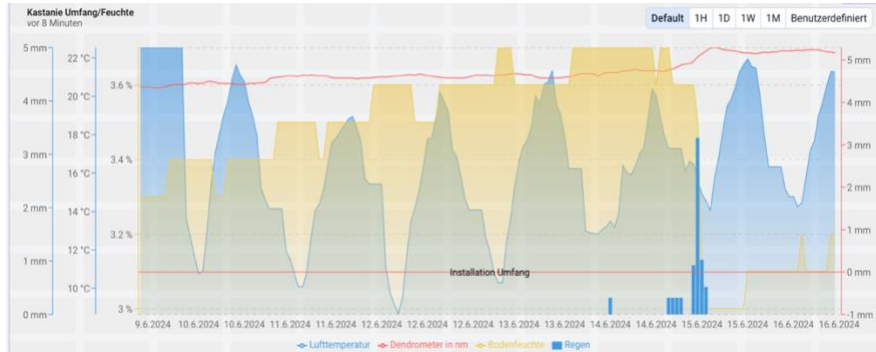


Abbildung 11 Kastanie im Freiland

Alle drei durch die Dendrometer überwachten Bäume haben ihren Umfang seit Februar um etwa 5mm ausgeweitet. Der Regen hat einen direkten Einfluss auf den Umfang.

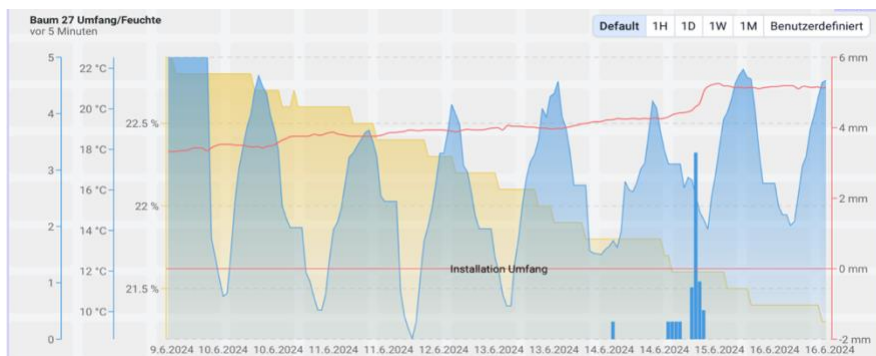


Abbildung 12 Baum 27 in Nauheim

Durch die aktuellen Wetterbedingungen in 2024 ist es uns leider noch nicht gelungen die Trockenstressfaktoren für den Baum zu bestimmen. Dafür wären Bewässerungen, die wie auch in allen anderen Jahren ab März stattfinden, notwendig

gewesen. Die Dendrometer bleiben jedoch Bestandteil der Installation und können später bei Bedarf auch für andere Bäume eingesetzt werden.

Bodenfeuchtigkeit und Bewässerungsintervalle

Durch die Messung der Bodenfeuchtigkeit können Wissenschaftler feststellen, welcher Feuchtigkeitsgehalt im Boden für die Gesundheit der Bäume notwendig ist. Diese Informationen werden genutzt, um die Zeitpunkte für die Bewässerung zu berechnen. Anhand der Daten wird ein Modell entwickelt, das die notwendige Wassermenge und die optimalen Intervalle für die Bewässerung vorhersagt. Dies ermöglicht eine bedarfsgerechte Bewässerung, die Wasser spart und die Bäume gesund hält.

Bewässerungspläne und Ressourcenmanagement

Die Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Studie tragen dazu bei, Bewässerungspläne zu optimieren. Durch die präzise Ermittlung der Wasserbedürfnisse können die Kommunen Bewässerungsintervalle so anpassen, dass sie den Wasserverbrauch minimieren und gleichzeitig die Gesundheit der Bäume sicherstellen. Dies führt zu einer effizienteren Nutzung der Wasserressourcen und reduziert die Betriebskosten für die städtische Grünpflege.

Nachhaltigkeit und Klimaanpassung

Langfristig helfen diese Erkenntnisse, städtische Grünflächen an den Klimawandel anzupassen. Durch das Verständnis, wie Bäume auf unterschiedliche Umweltbedingungen reagieren, können Städte resiliente Baumarten auswählen und Pflanzstrategien entwickeln, die die Widerstandsfähigkeit gegen extreme Wetterbedingungen erhöhen. Dies trägt zur Nachhaltigkeit und zum Schutz städtischer Ökosysteme bei.

Durch die wissenschaftliche Begleitung der Baumgesundheit mittels Dendrometer und Umweltdaten gewinnen die Kommunen wertvolle Erkenntnisse, um ihre Bewässerungsstrategien zu optimieren und nachhaltiger zu gestalten. Diese Maßnahmen tragen nicht nur zur Kosteneinsparung bei, sondern auch zur langfristigen Gesundheit und Widerstandsfähigkeit städtischer Bäume.

Zielsetzung und langfristige Vision

Das Hauptziel dieses Projekts ist es, den Bauhofmitarbeitern ein Werkzeug an die Hand zu geben, das nicht nur den aktuellen Wasserbedarf der Bäume deckt, sondern auch langfristige Strategien zur Umwelt- und Ressourcenschonung fördert.

9. Ausschreibung: Sensoren und WebApp

Anforderungen an die LoRaWAN-Sensoren

Die gesuchten LoRaWAN Sensoren sollen folgende Kriterien erfüllen

- robust und wartungsfrei
- wenig Vorrüstzeit
- einfache Installation
- wenig Aufwand für Deinstallation und Umplatzierung
- Schutz vor Diebstahl und Vandalismus

Die Ausschreibung der Sensorik hat das ortsansässige Unternehmen Möbus Engineering gewonnen, das mit einer einfachen und schnellen Installation der Sensoren auch einen Beitrag zur Kostensenkung leistet. Die Sensoren mit FDR Technik liefern die Werte für Bodenfeuchtigkeit (in Volumen %), der Temperatur (in °C) und Leitfähigkeit des Bodens. Alternativ können auch Watermark Sensoren mit 4 Messtiefen eingesetzt werden.

Die Sensoren werden so konfiguriert, dass sie im Winter alle 12 Stunden(06:00, 18:00) und im Sommer alle 6 Stunden (06:00, 12:00, 18:00, 00:00) die jeweils aktuellen Bodenwerte liefern. Das war die Vorgabe der Bauhöfe und sorgt für einen sehr geringen Energiebedarf, der den Betrieb von mehr als 10 Jahren erwarten lässt.

Funktionen der WebApp

Die ausgeschriebene WebApp bietet eine Vielzahl von Funktionen zur effizienten und nachhaltigen Pflege der Bäume. Zu den Funktionen gehört die Überwachung der Wetterbedingungen und der Bodenfeuchte an Referenzbäumen. Diese Daten ermöglichen es, Rückschlüsse auf die Werte aller Gruppenbäume zu ziehen, die ähnliche Baumscheiben oder Installationen haben. Dadurch kann die Planung der Wassermenge auf der Gießroute optimiert werden, was zu einer effizienteren Nutzung der Ressourcen führt.

Ein weiteres wesentliches Feature ist die detaillierte Dokumentation der Gießungen aller Gießbäume (überwachte Referenz- und Gruppenbäume). Der Einsatzplan und die Kontrolle der Bodenwerte an den Referenzbäumen ermöglicht die bedarfsgerechte und präzise Bewässerung präzise. Dabei berücksichtigt die App auch aktuelle Wettervorhersagen, um Gießwasser einzusparen und die Überwässerung zu verhindern.

Darüber hinaus unterstützt die App die Planung und Dokumentation von Pflegearbeiten. Auffälligkeiten, die während der Gießungen von den Mitarbeitern beobachtet werden, können fotografisch dokumentiert und in der App erfasst werden. Dies ermöglicht eine gezielte Planung von Pflegearbeiten, um die Bäume optimal zu pflegen. Die Dokumentation dieser Arbeiten bietet eine transparente und nachvollziehbare Historie der Pflegeaktivitäten, was die langfristige Planung und Betreuung erleichtern wird.

Ein weiteres Highlight der App ist die Möglichkeit zur kollaborativen Nutzung. Verschiedene Teams und Abteilungen können auf die Daten zugreifen und in Echtzeit zusammenarbeiten. Dies fördert die Effizienz und Kohärenz in der Pflegeplanung und -durchführung.

Insgesamt bietet die WebApp eine umfassende Lösung für das Management und die Pflege städtischer Bäume. Durch die Kombination von Echtzeitdaten, prädiktiver Analyse und kollaborativen Funktionen trägt die App wesentlich zur Nachhaltigkeit und Effizienz der städtischen Grünpflege bei. Dies ermöglicht nicht nur durch die Optimierung der Wassernutzung und Pflegeplanung, sondern auch durch die Förderung einer datengestützten Entscheidungsfindung und einer proaktiven Pflegestrategie.

Die Einbindung einer KI ist vorgesehen, aber noch nicht implementiert, da für die Verwendung eine große Datenbasis erforderlich ist. Diese Datenbasis im Laufe des Betriebes gesammelt. Eine KI kann Hinweise zur Wassermenge und den Gießzeitpunkten machen, die auf Bodenwerten, Wettervorhersagen und der Fähigkeit der Bäume im Umgang mit Trockenheit basieren.

Einfache Installationsroutinen für Sensoren ermöglicht es Nutzern, die Standorte der zu bewässernden Bäume zu verändern, indem sie die Installationsprozesse eigenständig durchführen. Dank benutzerfreundlicher Anleitungen und intuitiver Technik können Stadtmitarbeiter die Sensoren und Dendrometer ohne spezielles Fachwissen installieren. Dies reduziert die Notwendigkeit für externe Fachkräfte und senkt somit die Installations- und Wartungskosten. Die Fähigkeit, die Messstellen eigenständig zu verwalten, gibt den Nutzern mehr Kontrolle und Flexibilität bei der Pflege der städtischen Bäume und trägt dazu bei, die Bewässerung effizienter und ressourcenschonender zu gestalten.

Die Integration der WebApp-Daten in bestehende städtische Managementtools verbessert den Informationsaustausch und die Koordination erheblich. Dies erleichtert die Planung und Durchführung von Maßnahmen, da die relevanten Daten direkt in die Arbeitsabläufe der städtischen Mitarbeiter integriert werden können. Zudem kann die Integration die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen städtischen Abteilungen, wie Grünflächenpflege, Wasserwirtschaft und Stadtplanung unterstützen. Dadurch können Ressourcen effektiver genutzt und Entscheidungen fundierter getroffen werden. Die verbesserte Datenverfügbarkeit und -transparenz trägt dazu bei, die städtische Umweltpflege nachhaltiger zu gestalten und die Gesundheit der Bäume langfristig zu sichern, was wiederum die Lebensqualität in der Stadt steigert.

Ausschreibung der WebApp

Um einen besseren Eindruck von der Leistung der App zu erhalten, hier der Inhalt der Ausschreibung in Form des Inhaltsverzeichnisses.

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	4
PROJEKTDESCHREIBUNG UND NUTZEN	
Projektbeschreibung	6
Nutzen	6
ANFORDERUNGEN AN DIE APPLIKATION	
Dokumentation	8
Funktionen	9
Login	9
Profil verwalten	9
Passwort ändern	10
Fahrzeuge verwalten	10
Grenzwerte verwalten	10
Mitarbeiter verwalten	11
Bewässerungsinformationen anzeigen	12
Baumdetailansicht	12
Bodensensoren verwalten	13
Bodensensoren Deinstallation/Neuinstallation	14
Dendrometer verwalten	14
Gießplan verwalten	15
Gießauftrag durchführen	15
Bäume verwalten	16
Bodensensorzuordnung durch externe Dienstleister	17
Baumanlage (Referenzbaum) durch externe Dienstleister	17
Winterdienst Sensor- und Wetterdaten anzeigen	18
Detailseite Winterdienst-Messstellen	18
Bodentemperatursensoren verwalten	19
Wetterstationen verwalten	19
Installationsarten verwalten	20
Standardansicht	20
Mandantenfähigkeit	21
Wasserstationen verwalten	21
Schnittstelle LoRaWAN und Speicherung Daten	21
Fehlermeldungen	23
Benachrichtigungen	23
Datenexport	24
Mailversand	24
Import Baumdaten	25
Optional: Einbindung Webcams für Winterdienst	25
Rechte & Rollen	25
PLATTFORM UND UNTERSTÜTZENDE GERÄTE	27
Plattform	27
Unterstützende Geräte	27

TECHNISCHE ANFORDERUNGEN

Server	29
Serverstandort und Datenhaltung	29
Aktualisierung und Pflege	29
Sicherheitsmaßnahmen	29

PROGRAMMIERSPRACHEN

Backend-Technologie	30
Frontend-Technologie	31
Integration von Backend und Frontend	31
Deployment-Prozess	31
Continuous Integration und Continuous Deployment	31
Statische Code-Analyse	32
Zero-Downtime Deployment	32

ENTWICKLUNGSMETHODIK

Prinzipien der Agilen Entwicklung	33
Qualitätssicherungsmaßnahmen	33
Kommunikation und Transparenz	34

QUALITÄTSANFORDERUNGEN

Benutzerfreundlichkeit und Fehlerfreiheit	35
Funktionalität und Features	35
Wartbarkeit und Skalierbarkeit	35
Teststrategie und Qualitätskontrolle	36
Rollout-Strategie und Feedback	36

DATENSCHUTZ UND SICHERHEIT

Datenschutz	37
Grundprinzipien des Datenschutzes	37
Sicherheit	37
Sicherheitsmaßnahmen in der Anwendung	37
Sicherheit der Server- und Netzwerkarchitektur	38
Deployment und Entwicklungsprozess	38

ZEITRAHMEN UND MEILENSTEINEN	39
------------------------------	----

ANGEBOTSAUFBAU/HONORARBLATT	41
-----------------------------	----

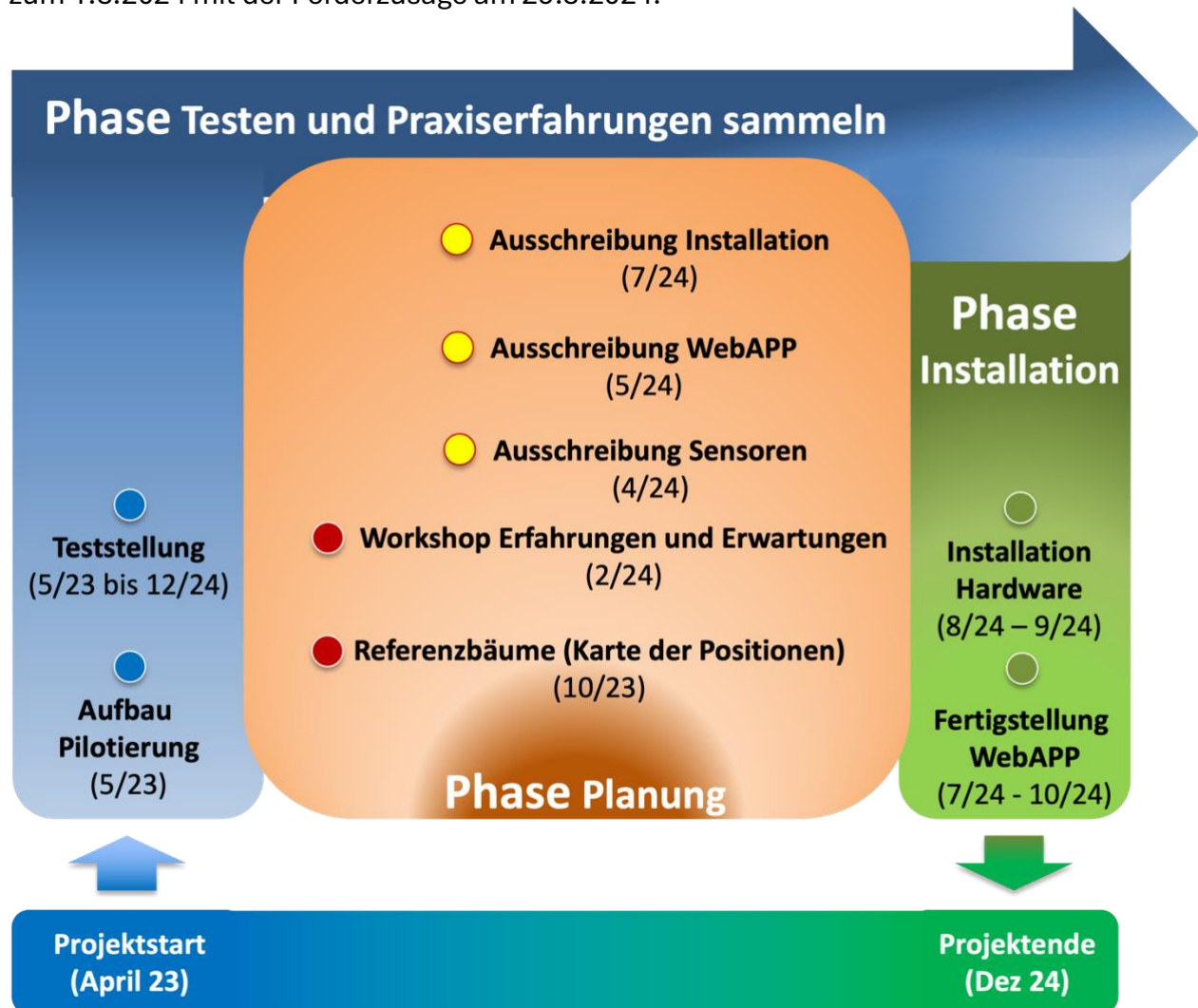
ANHANG

Funktionsdiagramme	43
--------------------	----

10. Planung Zeit und Kosten

10.1 Zeitplan

Das Projekt hat eine Laufzeit von März 23 bis Ende September 24. Es startete rückwirkend zum 1.3.2024 mit der Förderzusage am 29.3.2024.



10.2 Kosten

Durch die Demo Installation und die Arbeit mit den Sensoren in Form eines Demo Dashboards konnten die Anforderungen an die Sensorik und die Hardware genauer spezifiziert werden. Kosten für Hardware und Installation konnten reduziert werden.

Die Gewerke wurden auf Grundlage der mit den Bauhöfen und Fachabteilungen erarbeiteten Anforderungskataloge ausgeschrieben.

Sensorik

Die Kosten für die Bodensensoren sind mit etwa € 320,- günstiger als zu Beginn des Projektes geplant. Die Sensoren wurden einbaufertig geliefert. Für das FDR Messverfahren haben wir uns nach der einjährigen Praxisphase entschieden.

Für das Projekt „Digitalisierter Winterdienst“ konnten wir im Verlauf der Praxisphase durch Vergleiche der Messmethoden eine preisgünstige Lösung finden. Die ursprünglich 3 geplanten Messorte konnten bei gleichzeitiger Kosteneinsparung auf 31 Messstellen ausgeweitet werden. Das eine Anforderung der Bauhöfe nach Erkenntnissen der Praxisphase.



Installation

Durch die sehr einfache und schnelle Installation konnten deutliche Einsparungen im Vergleich zur Planung erreicht werden. Die Ausschreibung ist von einem GalaBau Unternehmen gewonnen worden, das etwa € 30,- für die Installation eines Sensors berechnet.

Für die exakte Positionierung wird ein Leica GPS-Messkopf verwendet.

Die Installation erfolgt mit Hilfe eines Moduls „Installation“, das Bestandteil unserer WebApp ist. Damit sind die Bauhöfe selbst in der Lage Sensoren an andere Stellen zu versetzen, oder Messstellen neu anzulegen.

WebApp

In die WebApp wurde das Förderprojekt „Winterdienstlösung“ integriert und als BeWi-APP (Bewässerung/Winterdienst) ausgeschrieben, weil die Bauhöfe beide Usecases verwenden. Der größere Funktionsumfang für die Bewässerung (Kataster, Verwaltung von Fahrzeugen, die Berücksichtigung der Gießarme, Schnittstellen, etc.) und die Integration der Winterdienstlösung erfordert einen Mehraufwand für die Erstellung der WebApp. Die Ausschreibung für die gemeinsame APP Bewässerung und Winterdienst hat ein Bieter mit einem Angebot von knapp unter € 80.000,- gewonnen, der im Juli 2024 gestartet ist.

11. Art der Referenzbäume

Die meisten Bäume der Kommunen sind gut für gemäßigte Klimabedingungen geeignet. Einige Arten, wie die Robinie und der Ginkgo sind besonders trockenheits-resistent und anpassungsfähig, was sie für veränderte Klimabedingungen ideal macht. Bäume mit hohem Wasserbedarf, wie die Moorbirke und die Sumpfeiche, könnten in längeren Trockenperioden zusätzlichen Bewässerungsbedarf haben. Durch die Installation von Dendrometern und kontinuierliche Überwachung der Umweltbedingungen könnte die Bewässerung optimal angepasst werden, um die Gesundheit der Bäume langfristig zu sichern und den Wasserverbrauch effizient zu gestalten.

Hier eine Übersicht der Gießbäume:

1. Linde

- Wissenschaftlicher Name: Tilia
- Herkunft: Europa
- Wasserbedarf: Mittel bis hoch
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



2. Platane

- Wissenschaftlicher Name: Platanus
- Herkunft: Nordamerika, Europa
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



3. Douglasie

- Wissenschaftlicher Name: Pseudotsuga menziesii
- Herkunft: Nordamerika
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt bis kühl



4. Ginkgo

- Wissenschaftlicher Name: Ginkgo biloba
- Herkunft: China
- Wasserbedarf: Gering bis mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



5. Amberbaum

- Wissenschaftlicher Name: Liquidambar styraciflua
- Herkunft: Nordamerika, Asien
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt bis warm



6. Feldahorn

- Wissenschaftlicher Name: *Acer campestre*
- Herkunft: Europa, Westasien
- Wasserbedarf: Gering bis mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



7. Edelkastanie

- Wissenschaftlicher Name: *Castanea sativa*
- Herkunft: Südeuropa
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt bis warm



8. Robinie

- Wissenschaftlicher Name: *Robinia pseudoacacia*
- Herkunft: Nordamerika
- Wasserbedarf: Gering
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



9. Moorbirke

- Wissenschaftlicher Name: *Betula pubescens*
- Herkunft: Europa, Asien
- Wasserbedarf: Hoch
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt bis kalt



10. Hainbuche

- Wissenschaftlicher Name: *Carpinus betulus*
- Herkunft: Europa, Westasien
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



11. Eiche

- Wissenschaftlicher Name: *Quercus*
- Herkunft: Weltweit, vorwiegend Nordhalbkugel
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt bis mediterran



12. Kornelkirsche

- Wissenschaftlicher Name: *Cornus mas*
- Herkunft: Südeuropa, Westasien
- Wasserbedarf: Gering bis mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



13. Säulenpappel

- Wissenschaftlicher Name: *Populus nigra* 'Italica'
- Herkunft: Südwestasien, eingeführt in Europa
- Wasserbedarf: Hoch
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



15. Sumpfeiche

- Wissenschaftlicher Name: *Quercus palustris*
- Herkunft: Nordamerika
- Wasserbedarf: Hoch
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



16. Glanzmispel

- Wissenschaftlicher Name: *Photinia*
- Herkunft: Ostasien
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt bis warm



17. Ulme

- Wissenschaftlicher Name: *Ulmus*
- Herkunft: Nordhalbkugel
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



18. Pflaume

- Wissenschaftlicher Name: *Prunus domestica*
- Herkunft: Europa, Asien
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt



19. Junge Walnuss

- Wissenschaftlicher Name: *Juglans regia* 'Junge Glans'
- Herkunft: Ursprünglich aus Asien, selektive Zucht
- Wasserbedarf: Mittel
- Bevorzugtes Klima: Gemäßigt

