



ENDBERICHT CCRBF

„Expansion of the Indo-German Competence Center for River Bank Filtration“
Teilvorhaben: Konzept für den Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern in
Indien

BMBF FKZ: 01DU20003C

PROF. JENS NOWAK, HERIBERT RUSTIGE, LENA HARTFIEL

FHP

Inhaltsverzeichnis

1	Projektziele	5
2	Ausführungsplanung und Anlagenbetrieb Constructed Wetland	7
2.1	Ausführungsplanung	7
2.2	Installation Mess- und Datenfernübertragungs- (DFÜ) Technik.....	10
2.3	Planung Anlagenbetrieb und Beprobung	10
2.4	Laborarbeit	12
3	Workshops	12
3.1	Varanasi Oktober 2022	12
3.2	Summer School April 2023	15
4	Besuche und Vernetzungsarbeit.....	16
4.1	Varanasi Oktober 2022	16
4.1.1	Besuch Kläranlagen.....	16
4.1.2	Ortsbegehung Fluss Assi.....	18
4.1.3	Besuch Rajiv Gandhi South Campus.....	20
4.2	Goa April 2023	20
4.2.1	Treffen mit der Verna Industries Association	21
4.2.2	Besuch des Birla Institute of Technology and Science	23
4.2.3	Treffen mit BioUma und Besuch vor Ort	26
4.3	Varanasi April 2023.....	28
4.4	Besuch Dresden und Berlin 2023	29
4.4.1	RBF Konferenz Dresden.....	29
4.4.2	Exkursion Berlin	29
4.5	Roorkee und Dehradun.....	31
5	Assi River Restauration	32
5.1	Kurzfassung	32
5.2	Einführung.....	33
5.3	Bedingungen und Probleme des Assi-Flusses	34
5.4	Action Plan	35
5.5	Bewertung.....	37
5.6	Integration naturnaher Lösungen	39

5.7	Bemessungsansatz.....	41
5.8	Ansatz zur Umsetzung der Studie.....	45
5.9	Fazit	47
6	Mittelverwendung.....	49
7	Quellen:.....	50

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 AUSFÜHRUNGSPÄNE FÜR DAS CONSTRUCTED WETLAND AUF DEM BHU-CAMPUS.....	8
ABBILDUNG 2 ANSICHT ABSETZKAMMERN	8
ABBILDUNG 3 ANLAGENAUFBAU ÜBERSICHT.....	9
ABBILDUNG 4 ANSICHT VERTIKALFILTER 1.1 UND 1.2	9
ABBILDUNG 5 ANSICHT VERTIKALFILTER 2.1 UND 2.2.....	9
ABBILDUNG 6 AUFBAUARBEITEN	10
ABBILDUNG 7 VERKABELUNG MESSSONDEN	10
ABBILDUNG 8 ANLAGENBESPRECHUNG MIT STUDIERENDE ABBILDUNG 9 BEWUCHS CW	12
ABBILDUNG 10 RECHENZENTRUM DES DST-MAHAMANA CENTRE OF EXCELLENCE IN CLIMATE CHANGE RESEARCH.....	14
ABBILDUNG 11 GRUPPENFOTO ALLER WORKSHOPTEILNEHMENDEN	14
ABBILDUNG 12 HR. NOWAK IM AUSTAUSCH MIT STUDIERENDEN	14
ABBILDUNG 13 DANKSAGUNG AM ENDE DES WORKSHOPS.....	14
ABBILDUNG 14 BEGRÜBUNGSZEREMONIE ABBILDUNG 15 PROF. NOWAK (LI.) UND PROF. MISHRA (RE.)	15
ABBILDUNG 16 ERSTE BEHANDLUNGSSTUFE - RECHEN.....	16
ABBILDUNG 17 VERGLEICH ZULAUF (LI.) UND ABLAUF (RE.).....	16
ABBILDUNG 18 PUMPWERK	17
ABBILDUNG 19 LABORBESICHTIGUNG	17
ABBILDUNG 20 VERLAUF ASSI (GOOGLE EARTH)	18
ABBILDUNG 21 KERD MAHESHWAR TEICH	18
ABBILDUNG 22 MÜLLVERSCHMUTZUNG ASSI.....	19
ABBILDUNG 23 MÜLLVERSCHMUTZUNG ASSI.....	19
ABBILDUNG 24 WASSERRESERVOIR IM RAJIV GANDHI SOUTH CAMPUS	20
ABBILDUNG 25 RAJIV GANDHI SOUTH CAMPUS	20
ABBILDUNG 26 LABOR VON PROF. MUTNURI	23
ABBILDUNG 27 CW FÜR OBERFLÄCHENWASSERBEHANDLUNG AUF DEM CAMPUS DER BITS	24
ABBILDUNG 28 VERSUCHS- UND LEHR-KLÄRANLAGE AUF DEM CAMPUS DER BITS	25
ABBILDUNG 29 BIOGASANLAGE AUF DEM CAMPUS DER BITS.....	26
ABBILDUNG 30 CW VON BIOUMA IN CHICALIM.....	27
ABBILDUNG 31 GRUPPENFOTO RBF KONFERENZ IN DRESDEN.....	29
ABBILDUNG 32 VORBESPRECHUNG ZUR EXKURSION IN BERLIN BEI AKUT	30
ABBILDUNG 33 ZULAUFVERTEILERBAUWERK CW LOBETA.....	30
ABBILDUNG 34 CONSTRUCTED WETLAND LOBETAL	30
ABBILDUNG 35 ERKLÄRUNG KORNSPEICHER	31
ABBILDUNG 36 MODELLERKLÄRUNG RIESELFELDER.....	31
ABBILDUNG 37 SBR-ANLAGE RISHIKESH.....	32
ABBILDUNG 38 ONLINE MESSTECHNIK	32
ABBILDUNG 39 WASSERAUFBEREITUNGSANLAGE HARIDWAR UFERFILTRATIONS-DEMONSTRATIONSBRUNNEN 18.....	32
ABBILDUNG 40 WASSERAUFBEREITUNGSANLAGE HARIDWAR.....	32
ABBILDUNG 41 GRAVIERENDE VERSCHMUTZUNGEN IM ASSI RIVER	34
ABBILDUNG 42 EINZUGSGEBIETE DER VORHANDENEN KLÄRANLAGEN IM ASSI RIVER GEBIET	35
ABBILDUNG 43 SCHEMA MAßNAHMEN-PLAN FÜR DEN ASSI RIVER (ACTION PLAN, 2021).....	36
ABBILDUNG 44 FLIEßSCHEMA BODENFILTER (DWA A 178)	40
ABBILDUNG 45 LAGEPLAN MIT POTENTIALFLÄCHEN FÜR RBF (KARTEN-QUELLE GOOGLE.MAPS).....	42

ABBILDUNG 46 DURCHSCHNITTLICHE NIEDERSCHLAGSHÖHEN IM JAHRESVERLAUF IN VARANSI UND BEHANDELBARE NIEDERSCHLAGSHÖHEN BEI EINEM ZIEL VON 85% HYDRAULISCHEM WIRKUNGSGRAD (GRAUE KURVE)	43
ABBILDUNG 47 SCHEMATISCHER QUERSCHNITT EINES RETENTIONSBODENFILTERBECKENS RBF (DWA A 178))	44
ABBILDUNG 48 LAGEPLAN MIT POTENTIALFLÄCHEN FÜR RBF (KARTEN-QUELLE GOOGLERMAPS).....	44

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 BEPROBUNGSPARAMETER PILOTANLAGE	11
TABELLE 2 BEPROBUNGSERGEBNISSE	12
TABELLE 3 ZU- UND ABLAUFWERTE KA BHAGWANPUR	17
TABELLE 4 ZU- UND ABLAUFWERTE KA RMANA	17
TABELLE 5 UNTERSUCHUNG VON OBERFLÄCHENABFLUSS UND ABWASSEREINLEITUNG	42

1 Projektziele

Die ursprünglichen Ziele für die FHP in Zusammenarbeit mit AKUT in diesem Projekt waren vielfältig und umfassten verschiedene Aspekte des nachhaltigen Wassermanagements, insbesondere im Zusammenhang mit der Verbesserung der Gewässerqualität durch bepflanzte Bodenfilter (Constructed Wetlands, CW). Zu den Hauptzielen gehörten das Konzept für den Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern sowie die Ausführungsplanung für deren Errichtung. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zur Integration von CW in den Masterplan für die Ultrafiltration (UF) sowie zur Verringerung der diffusen Gewässerbelastung durch CW als wichtige Ziele identifiziert. Im Einzelnen lassen sich die Aufgaben wie folgt zusammenfassen:

1. Erweiterung der Thematik nachhaltiges Wassermanagement/Uferfiltration durch bepflanzte Bodenfilter (CW): Sowohl die FHP als auch AKUT strebten an, das Verständnis und die Anwendungsmöglichkeiten von bepflanzten Bodenfiltern als nachhaltige Methode der Wasseraufbereitung zu erweitern und zu fördern.
2. Ausführungsplanung für den Bau von CW: Die FHP und AKUT waren für die detaillierte Planung und Umsetzung des Baus der bepflanzten Bodenfilter verantwortlich, wobei die technischen Anforderungen und ökologischen Aspekte berücksichtigt werden mussten.
3. Ausrüstung des CW mit Mess- und DFÜ-Technik: Die FHP stattete die bepflanzten Bodenfilter mit Messtechnik aus, um den Betrieb aus der Ferne überwachen und steuern zu können.
4. Untersuchung der Verringerung der diffusen Gewässerbelastung durch CW: Ein weiteres Ziel war es, die Wirksamkeit von bepflanzten Bodenfiltern bei der Reduzierung von diffuser Gewässerbelastung zu untersuchen und zu quantifizieren.
5. Erstellung eines Konzepts für den Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern zur Integration im Masterplan UF für Indien: Die FHP, AKUT und die Partnerinstitution BHU sollten ein umfassendes Konzept entwickeln, um bepflanzte Bodenfilter effektiv in den Masterplan für die Ultrafiltration in Indien zu integrieren.
6. Feldarbeiten für den Bau und die Ausrüstung des Standortes mit Werbe- und Informationsmaterialien: Die BHU, AUT und FHP waren für die praktische Umsetzung der Bau- und Ausstattungsarbeiten vor Ort verantwortlich und sollten zusätzlich Informationsmaterialien erstellen, um das Verständnis und die Akzeptanz für das Projekt zu fördern.
7. Sondierung zur Aufnahme der CW als ein „smart wastewater infrastructure concept“ im Rahmen des „Smart City“ Vorhabens der Stadt und als Komponente der „Clean Ganga Mission“: Die Partnerinstitutionen sollten Möglichkeiten erkunden, wie

bepflanzte Bodenfilter in die Smart-City-Initiativen der Stadt und in die Clean-Ganga-Mission integriert werden könnten.

8. Synthese der Informationen für die Aufnahme im Masterplan UF: Die FHP, HTWD und BHU waren dafür verantwortlich, die gesammelten Informationen und Erkenntnisse zu analysieren und in den Masterplan für die Ultrafiltration in Indien zu integrieren.

9. Winterschule/Weiterbildung zu CW: Die Organisation einer Winterschule oder Weiterbildung zu bepflanzten Bodenfiltern sollte dazu dienen, Fachleute und Interessierte über die neuesten Entwicklungen und Anwendungen in diesem Bereich zu informieren und zu schulen.

Insgesamt waren die ursprünglichen Ziele dieses Projekts ambitioniert und zielten darauf ab, das Verständnis und die Anwendungsmöglichkeiten von bepflanzten Bodenfiltern als nachhaltige Methode der Wasseraufbereitung zu fördern und deren Integration in nationale und internationale Strategien und Programme voranzutreiben. Im Folgenden soll erläutert werden, wie diese Ziele während des Projektes erreicht wurden. Hierbei wird auf die Ausführungsplanung und Anlagenbetrieb des CW, Workshops und Besuche und Vernetzungsarbeit eingegangen.

2 Ausführungsplanung und Anlagenbetrieb Constructed Wetland

2.1 Ausführungsplanung

Die Pilotanlage eines CW als Demonstrationsanlage am Standort Varanasi der BHU wurde durch das Ingenieurbüro AKUT geplant. Es handelt sich um eine Anlage nach dem so genannten „französischen System“ mit jeweils zwei Vertikalfiltern in der ersten und zweiten Stufe (DWA A 262). Die Vertikalfilter verfügen über ein Verteiler- und Drainagesystem und sind durch einen Schacht verbunden. Je Stufe wurde jeweils ein Filter mit Pflanzen der Gattung Typha bzw. Canna bepflanzt. Die Anlage wurde durch die BHU in Zusammenarbeit mit ortansässigen Ingenieuren gebaut und im August 2022 fertig gestellt. Bei der Besichtigung vor Ort fiel auf, dass das verwendete Kiesmaterial der ersten Filterstufe sehr scharfkantig ist und möglicherweise das Pflanzenwachstum beeinträchtigen kann. Gleichzeitig war eine geringe Konzentration im anstehenden Abwasser im Zulauf der Anlage festzustellen. Es war zu erwarten, dass dies zu einem verlangsamten Aufbau der für den erfolgreichen Anlagenbetrieb zwingend erforderlichen Sekundärfilterschicht führen würde. Daher wurde entschieden, die Sekundärfilterschicht durch das Auftragen einer Kompostschicht künstlich herzustellen.

Die geringe Verunreinigung des Zulaufs kann sowohl auf die verringerte Studierendenzahl durch die Corona-Pandemie, als auch auf die Regensaison zurückgeführt werden. Außerdem besteht eine hohe Wassernutzung auf dem Gelände der BHU, da diese eine eigene Wasserversorgung durch die Nutzung von Grundwasser hat. Mit höheren Abwassermengen und stärkeren Belastungen ist voraussichtlich in den kommenden Jahren zu rechnen, da in der näheren Umgebung mehrere Häuser errichtet werden sollen.

Das genutzte Abwasser stammte aus den umliegenden Universitätsgebäuden. Es wird am Standort durch eine MBBR-Anlage gereinigt. Ein Teil des Zulaufs wurde abgezweigt und in der Demonstrationsanlage (CW) behandelt.

Das Abwasser wird durch einen Rechen, gefolgt von drei Absetzkammern geleitet, bevor es über eine Pumpe diskontinuierlich auf die Filter geleitet wird. Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Pumpe für den Zulauf vor die drei Absetzkammern zu setzen, um so höhere Belastungen im Abwasser zu erreichen und bessere Behandlungsergebnisse aufzeigen zu können. Das wurde jedoch nicht getestet.



Abbildung 3 Anlagenaufbau Übersicht



Abbildung 4 Ansicht Vertikalfilter 1.1 und 1.2



Abbildung 5 Ansicht Vertikalfilter 2.1 und 2.2

2.2 Installation Mess- und Datenfernübertragungs- (DFÜ) Technik

Für die Fernüberwachung der Pilotanlage auf dem Gelände der BHU wurde verschiedene Messtechnik beschafft. Dazu zählen Durchflussmesser, Messsonden und Datenlogger. Alle Geräte wurden bei dem Besuch installiert und in Betrieb genommen. Während dem Bau der Pilotanlage wurde bereits ein Durchflussmesser am Zulauf installiert. Da dieser jedoch ohne Datenübertragung ausgestattet ist, wurde der Durchflussmesser von Nivus ebenfalls beim Zulauf installiert. Somit war eine Aufzeichnung über die Länge und den Zeitpunkt der Beschickung möglich. Der Durchfluss betrug bei vollständig geöffneten Filterzuläufen circa 21 l/min. Die Messsonden geben die Temperatur und den Wasserstand an. Sie wurden jeweils in beiden Filtern der ersten Stufe und im Schacht zwischen der ersten und der zweiten Stufe installiert. Bei den Filtern sollten die Sonden Auskunft darüber geben, wie häufig und wie lange ein Überstau entsteht.

Sowohl die Messsonden, als auch der Durchflussmesser wurden mit den Datenloggern verbunden, um eine Datenübertragung in ein WebPortal zu gewährleisten. Für die Datenübertragung werden Sim-Karten benötigt. Es wurde versucht, mit lokalen Sim-Karten zu arbeiten, deren Netzabdeckung jedoch nicht ausreichend war. Nach Absprachen mit Nivus wurden die internen Sim-Karten, mit denen die Datenlogger bereits ausgestattet sind, gegen einen Aufpreis aktiviert.



Abbildung 6 Aufbauarbeiten



Abbildung 7 Verkabelung Messsonden

2.3 Planung Anlagenbetrieb und Beprobung

Vor dem Besuch wurde die Anlage ohne festgelegten Beschickungsplan betrieben. Die Beprobung fand ebenfalls nicht zu festgelegten Umständen (Uhrzeit etc.) statt und wurde nicht dokumentiert. Nach der Besichtigung der Anlage wurde ein Beschickungs- und Beprobungsplan festgelegt, der als erste Probephase gilt. Die Pilotanlage sollte nach dem französischen System betrieben werden. Die Filter werden alternierend

beschickt (Wechsel alle 3,5 Tage). Bei einem Durchfluss von 60 l/min sollten die Filter 12x am Tag jeweils 15 Minuten beschickt werden. Die Daten der Messsonden und des Durchflussmessers sollten regelmäßig ausgewertet und dokumentiert werden. Die Beprobung sollte innerhalb der ersten Woche 3x erfolgen und ausschließlich beim Zulauf die Parameter Leitfähigkeit, CSB und BSB₅ prüfen. Anschließend sollte die Beprobung wöchentlich erfolgen sowohl im Zulauf als auch im Zwischenschacht und dem Ablauf. Die Parameter sollten wie folgt beprobt werden (Tabelle 1):

Tabelle 1 Beprobungsparameter Pilotanlage

	Temp.	O ₂	Leitfähig- keit	pH	CSB	BSB ₅	TSS	TN	TP	NH ₄ -N	NO ₃ -N
Zulauf			x	x	x	x	x	x	x	x	
Zwischenschacht	x	x	x	x	x	x				x	x
Ablauf	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Bei dem zweiten Besuch der BHU in Varanasi mussten einige Anpassungen an der Pilotanlage vorgenommen werden. Dazu gehörten der Wechsel der Batterien sowie die Kalibrierung des Durchflussmessgeräts und die Überprüfung der Funktion der Sonden. Diese Maßnahmen waren notwendig, um die reibungslose Funktionsweise der Anlage sicherzustellen und genaue Messergebnisse zu gewährleisten.

Im Laufe des Besuches wurde die Anlage auch gemeinsam mit den Studierenden besucht, um ihnen verschiedene Aspekte der Anlage zu erläutern. Zudem hatten sie die Möglichkeit, aktiv an Anpassungen und Überprüfungen teilzunehmen. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Einführung der neu verantwortlichen Doktoranden in die Prozesse der Beschickung und Beprobung. Diese Einführung war entscheidend, um sicherzustellen, dass die Doktoranden mit den Abläufen vertraut waren und ihre Aufgaben erfolgreich ausführen konnten.

Vor Ort wurde die Funktion der Anlage noch einmal ausführlich erklärt, um sicherzustellen, dass alle Teilnehmenden ein umfassendes Verständnis für die Abläufe und Mechanismen hatten. Es wurden offene Fragen diskutiert und geklärt.

Abschließend erfolgte eine detaillierte Planung der weiteren Schritte, insbesondere hinsichtlich der Beschickung und Beprobung der Anlage. Dabei wurden verschiedene Aspekte wie Zeitplanung, Auswahl der Probenahmepunkte und methodische Vorgehensweisen berücksichtigt. Die Planung wurde gemeinsam mit den Studierenden und Doktoranden durchgeführt, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten aktiv in den Prozess eingebunden waren und ihre Ideen und Vorschläge einbringen konnten.



Abbildung 8 Anlagenbesprechung mit Studierende Abbildung 9 Bewuchs CW

2.4 Laborarbeit

Für die Beprobung und die Laborarbeiten vor Ort wurden Küvettentests für die Parameter CSB, TN, NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_4\text{-N}$, TP, ein Kompaktphotometer (PF-12Plus), ein Thermoblock (NANOCOLOR VARIO HC) und Pipetten mit dazugehörigen Pipettenspitzen aus Deutschland mitgebracht. Bereits vor dem Besuch wurde der Zu- und Ablauf durch die BHU beprobt. Die Werte erschienen jedoch nicht plausibel, weshalb vor Ort gemeinsam mit den mitgebrachten Küvettentests die Werte für Nitrat, Ammonium und den chemischen Sauerstoffbedarf bestimmt wurden. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse:

Tabelle 2 Beprobungsergebnisse

	Zulauf [mg/l]	Ablauf 1. Stufe [mg/l]	Ablauf 2. Stufe [mg/l]
Nitrat-N	<20	<20	<20
Ammonium-N	>8	>8	7,8
CSB	163	110	46

3 Workshops

3.1 Varanasi Oktober 2022

Ziel des Workshops zum Thema "Treatment Wetlands in local Sanitation Master Planning" war es, einen Einblick in die jüngsten Entwicklungen bei der Nutzung von Pflanzenkläranlagen für die Abwasserbehandlung zu geben und eine Plattform für den Austausch und die Diskussion über die Möglichkeiten weiterer Forschungen zur

Abwasserbehandlung in Indien zu bieten sowie ein starkes Netzwerk für die künftige Arbeit an diesem Aspekt aufzubauen.

Vor Beginn der Veranstaltung gab es einen Rundgang durch das Institut „Environment and Sustainable Development“. Dabei wurde insbesondere das „DST-Mahamana Centre of Excellence in Climate Change Research“ vorgestellt. Es ist eine Initiative an der BHU im Rahmen des nationalen Aktionsplans des Premierministers zum Klimawandel. Das Zentrum wurde im Mai 2017 eröffnet und wird vom Ministerium für Wissenschaft und Technologie der indischen Regierung finanziert, um ein grundlegendes Verständnis des Klimawandels zu entwickeln und seine Auswirkungen auf die Bereiche Wasser, Gesundheit und Landwirtschaft von der lokalen bis zur globalen Ebene abzuleiten. Das Hauptziel des Zentrums ist die Entwicklung von Infrastruktureinrichtungen für Klimasimulationsmodelle, das Verständnis der Klimaauswirkungen und die Bewertung der Anfälligkeit von Landwirtschaft, Wasser, Gesundheit und sozioökonomischen Sektoren sowie die Entwicklung geeigneter Anpassungs- und Eindämmungsstrategien.

Zum Auftakt der Veranstaltung wurde Pandit Madan Mohan Malaviya, Gründer der Banaras Hindu Universität mit dem Vortragen eines „Kulgeets“ (eine Art Lied/Gedicht) durch die Studierenden geehrt. Der technische Teil begann mit einem Vortrag von Heribert Rustige zur „Role of treatment wetlands in sanitation and urban drainage“. Dabei ging es vor allem um die Definition und die verschiedenen Arten von constructed Wetlands (CW), deren Vorteile, Fußabdruck (spez. Flächenbedarf) und die Vorstellung einiger bereits umgesetzter Beispiele. Im Anschluss folgte der Vortrag von Jens Nowak zu den „German standards for state-of-the-art solutions“. Thematisch ging es dabei um die DWA Merkblätter für Kläranlagen und CW's. Es wurde konkret auf den Ablauf der Erstellung von DWA Merkblättern und der Arbeitsweise der verschiedenen Gremien eingegangen. Mit einer kleinen Diskussionsrunde und dem Austausch mit anwesenden Vertretern lokaler Kläranlagen zur Planung eines Besuches der jeweiligen Anlagen endete der erste Tag der Workshopreihe.

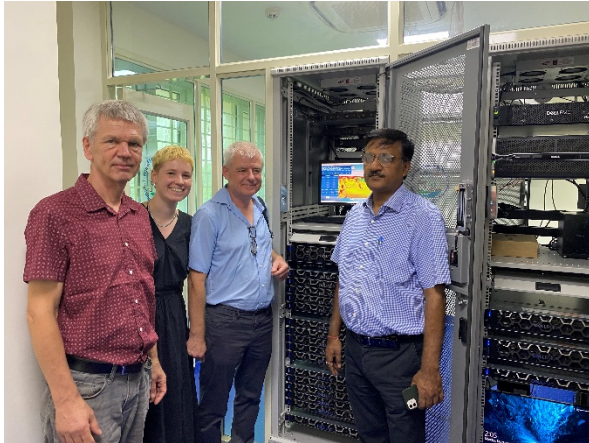


Abbildung 10 Rechenzentrum des DST-Mahamana Centre of Excellence in Climate Change Research



Abbildung 11 Gruppenfoto aller Workshopteilnehmenden



Abbildung 12 Hr. Nowak im Austausch mit Studierenden



Abbildung 13 Danksagung am Ende des Workshops

Der zweite Tag begann mit einer Einführung zu den „Current Scenarios and Challenges in Sewage Treatment in India“ durch Professor Mishra. In Uttar Pradesh fällt eine Gesamtmenge von 8.300 Millionen Liter pro Tag (MLD) Abwasser an. Die bestehenden Kläranlagen haben eine Kapazität von circa 3.400 MLD. Tatsächlich werden um die 2.000 MLD Abwasser behandelt. In Varanasi gibt es insgesamt sechs Kläranlagen, die insgesamt 400 MLD Abwasser behandeln. Aktuell im Bau sind Anlagen, die zusätzliche 200 MLD Abwasser behandeln können. Im Anschluss vertiefte Heribert Rustige seinen Vortrag vom Vortag und ging konkret auf die Funktion von Bodenfiltern mit integrierter Schlammbehandlung und dem sogenannten französischem System ein. Auch an diesem Tag endete die Veranstaltung mit einer Austauschrunde in der vor allem die Studierenden die Möglichkeit hatten Fragen zu stellen.

3.2 Summer School April 2023

Vom 18. bis 20. April 2023 fand an der BHU der Internationale Workshop zum Thema "Emerging Solutions for Sustainable Environmental Remediation" statt, organisiert durch alle Projektbeteiligten. Insgesamt waren die Tage des Workshops unterteilt in drei „technical sessions“ welche Vorträge nationaler und internationaler Teilnehmer und Posterpräsentationen von Studierenden umfassten. Zusätzlich legte eine Eröffnungssitzung den Grundstein für den Workshop und betonte die Bedeutung gemeinsamer Anstrengungen bei der Bewältigung von Umweltproblemen.

Am ersten Tag des Workshops präsentierte unter anderem Herr Rustige einen aufschlussreichen Beitrag zum Thema "Constructed Wetlands". Der zweite Tag des Workshops beinhaltete eine Präsentation von Prof. Nowak zum Thema " Wastewater treatment in municipal STP in Germany – today and in the future" sowie von Frau Hartfiel zum Thema " Planning process of wastewater treatment plants in rural areas". Diese Vorträge lieferten wertvolle Einblicke in aktuelle Praktiken und zukünftige Entwicklungen in der Abwasserbehandlung, die sowohl städtische als auch ländliche Kontexte berücksichtigten.



Abbildung 14 Begrüßungszeremonie



Abbildung 15 Prof. Nowak (li.) und Prof. Mishra (re.)

Nach den Präsentationen folgte eine produktive Diskussionsrunde, in der die Teilnehmenden, einschließlich der Studierenden, die Möglichkeit hatten, die wichtigsten Erkenntnisse aus den Workshops zu reflektieren. Diese Nachbesprechung ermöglichte den Austausch von Ideen und Perspektiven und bereicherte das kollektive Verständnis für nachhaltige Umweltsanierungsmethoden. Insgesamt bot der Workshop eine Plattform für den Austausch von Wissen, Zusammenarbeit und die Entwicklung innovativer Lösungen zur Erreichung nachhaltiger Ziele in der Umweltsanierung.

4 Besuche und Vernetzungsarbeit

4.1 Varanasi Oktober 2022

4.1.1 Besuch Kläranlagen

Um die aktuelle Situation der Abwasserbehandlung in Varanasi besser zu verstehen, wurden durch die BHU zwei Besichtigungen unterschiedlicher Kläranlagen vor Ort organisiert. Die Anlagen waren in verschiedene Größenordnungen und hatten unterschiedliche Behandlungssysteme, um einen diversen Einblick zu erhalten.

Bhagwanpur Sewage Treatment Plant

Die Anlage besteht seit 1948 und ist die kleinste in Varanasi. Sie behandelt ausschließlich Abwasser der BHU und hat einen Durchsatz von durchschnittlich 9,8 MLD. Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich auf rund 20 Mio. Rupien. Die Anlage besteht aus einer mechanischen Reinigungsstufe mit Rechen und Sandfang. Es folgen Absetzbecken, Belüftung und als dritte Reinigungsstufe eine Desinfektion. Der Klärschlamm wird in Faultürmen gesammelt und auf Schlammfiltern getrocknet.



Abbildung 16 Erste Behandlungsstufe - Rechen



Abbildung 17 Vergleich Zulauf (li.) und Ablauf (re.)

Zurzeit des Besuches war der Rechen der mechanischen Reinigung außer Betrieb. Auffällig war der geringe Anfall an Rechengut. Beim Sandfang war eine sehr hohe Fließgeschwindigkeit zu beobachten, sodass ein Absetzen kaum möglich ist. Die Belüftung der zweiten Reinigungsstufe war sehr stark, sodass mit einem hohen Energieverbrauch zu rechnen ist. Jedoch war kein Schwimmschlamm zu beobachten. Die dritte Reinigungsstufe erfolgt mit Hilfe von Chlor. Somit findet keine Elimination von Nitrat und Phosphat statt. Ein geringer Schlammanfall führt dazu, dass der Schlamm nur alle 24 Tage entnommen und auf die Schlammwässerungsbeet gepumpt wird. Außerdem produzieren die Faultürme kein Gas. Die geforderten Ablaufwerte werden

eingehalten. Wie bei der Pilotanlage ist die geringe Belastung des Zulaufs auf das Nutzungsverhalten der Studierenden und Universitätsangehörigen zurückzuführen. In naher Zukunft sind Renovierungsarbeiten an der Anlage geplant, da sich die gesetzlichen Grenzwerte für den Ablauf verschärfen. Die Zu- und Ablaufwerte sehen wie folgt aus (siehe Tabelle3):

Tabelle 3 Zu- und Ablaufwerte KA Bhagwanpur

	Zulauf [mg/l]	Ablauf [mg/l]
CSB	200 – 350	
BSB	60 – 90	< 10
TSS	80	< 10

Rmana Sewage Treatment Plant

Die zweite Anlage ist die neueste in Varanasi und wurde im Dezember 2021 in Betrieb genommen. Sie ist für 50 MLD ausgelegt und ist seit Inbetriebnahme 100% ausgelastet. Die Installationskosten belaufen sich auf 20 Mio. € und wurden durch die Regierung finanziert (Steuern). Betrieben wird die Anlage durch die Firma Essel Group, welche für die nächsten 15 Jahre zuständig bleibt. Der Zulauf erfolgt über eine Pumpstation am Ganges (nahe Assi Ghat). Die Anlage basiert auf dem Prinzip der SBR- Technik. Insgesamt gibt es vier Becken, die alternierend betrieben werden. Die Belüftungszeit liegt bei 72 Minuten und die Absetzzeit bei 36 Minuten. Jedes Becken verfügt über einen Schlammabzug. Der Schlamm wird für beispielsweise die Landwirtschaft genutzt, obwohl immer noch Vorbehalt gegenüber Klärschlamm herrschen.



Abbildung 18 Pumpwerk



Abbildung 19 Laborbesichtigung

Die Anlage verfügt über ein eigenes Labor für die Überwachung des Betriebs. Die aktuellen Parameter und ihre durchschnittlichen Werte können der folgenden Tabelle 4 entnommen werden (aus dem Betriebstagebuch).

Tabelle 4 Zu- und Ablaufwerte KA Rmana

Zulauf		Ablauf	
Parameter	Ø-Werte [mg/l]	Parameter	Ø-Werte [mg/l]
pH	6.0-8.5	pH	6.5-9.0
BSB ₅	80-230	BSB ₅	<10
CSB	450	CSB	<50
TSS	500	TSS	<10
TKN als N	45	Ammonium Nitrat	<5
TP	7	TP	<2
		Restchlor	> 0.2

Der Datendokumentation der Konzentrationen war zu entnehmen, dass Mai der trockenste Monat in Varanasi ist. In diesem Monat sind die Zulaufkonzentrationen in der am höchsten, während sie in der Regensaison am niedrigsten waren (Verdünnung). Zum Zeitpunkt des Besuches war die Anlage nicht in Betrieb, da durch das Hochwasser im Ganges das Pumpwerk überflutet bzw. verschlammt und nicht funktionsfähig war.

4.1.2 Ortsbegehung Fluss Assi

Der Assi River soll in Zukunft mit Hilfe von CW saniert werden. Es handelt sich dabei um einen kleinen Fluss, der in den Ganges mündet. Er weist eine Länge von 8 km und ein Einzugsgebiet von 22 km² auf. Der in vorherigen Projekten gemessene Durchfluss beträgt circa 70 MLD und es ist streckenweise eine hohe Fließgeschwindigkeit, durch das natürliche Gefälle, zu beobachten. Das Fließgewässer entspringt dem Kerd Maheshwar Teich, welcher mit einem weiteren kleineren Teich verbunden ist. Der Teich wird von Grundwasser gespeist. Alte Zuläufe sind wahrscheinlich zu großen Teilen zerstört oder nicht mehr funktionsfähig. Der Teich wird von den Anwohner*innen zum Baden und Wäsche waschen genutzt.

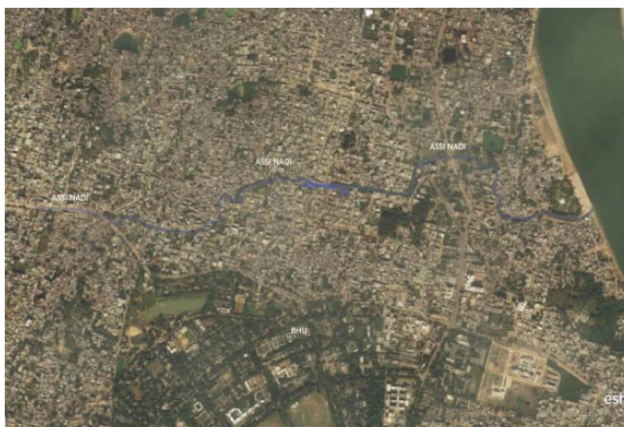


Abbildung 20 Verlauf Assi (Google Earth)



Abbildung 21 Kerd Maheshwar Teich

Der Assi fungiert auch als Abwassersystem der Stadt. Anliegende Wohngebiete oder Häuser leiten ihr unbehandeltes Abwasser an vielen Stellen des Flusses direkt ein. Durch eine fehlende oder nicht zureichende Müllabfuhr entsteht ebenfalls starke Verschmutzung durch die Ablagerung von Müll. Ungenehmigte Bauten haben zudem den Flusslauf stark beeinträchtigt. Der Fluss weist somit einen extrem hohen Verschmutzungsgrad auf und trägt damit auch zur Verunreinigung des Ganges bei. Da der Flusslauf durch ein sehr dicht besiedeltes Wohngebiet läuft, stellen die Verschmutzungen auch ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung dar. Zudem kommt es in der Monsunzeit häufig zu Hochwasser, die umliegenden Häuser sind dabei den Überschwemmungen mit dem verschmutzten Flusswasser ausgesetzt.



Abbildung 22 Müllverschmutzung Assi



Abbildung 23 Müllverschmutzung Assi

In den letzten Jahren gab es bereits verschiedene Projekte und Untersuchungen des Assi. 2017 wurde ein Pilotprojekt zur Verringerung der Verschmutzung des Assi durch den „Indian National Trust for Art and Cultural Heritage“ (INTACH) durchgeführt. INTACH ist eine non-profit Organisation, die seit 1984 aktiv ist. Ziel des Projektes war es, mithilfe von kostengünstigen Maßnahmen in kurzer Zeit (zwei Monaten) eine hohe Reduzierung der Verschmutzung zu erreichen. Beispielmaßnahmen waren die Anwendung von Bakterienkonzentraten zur Zersetzung organischer Schadstoffe, Geruchsminderung und der Erhöhung des Gehalts an gelöstem Sauerstoff; die Verweilzeit wurde durch die Installation von Wehren mit Säcken erhöht; Bündel von Kokosfaser, die als Aufwuchsmedium für die Bakterien dienten, wurden installiert und Müll wurde manuell aus dem Fluss entfernt.

2018 wurde Strabag von der indischen Behörde für Binnenwasserstraßen beauftragt, eine detaillierte hydrographische Vermessung des Assi durchzuführen. Ebenfalls sollte ein Machbarkeitsbericht zu Flussausbildungsarbeiten und der weiteren Entwicklung für eine umweltfreundliche Schifffahrt auf den Wasserstraßen erstellt werden. Fazit der Untersuchungen war, dass sich der Fluss Assi aufgrund seiner geringen Breite und der starken Verschmutzung nicht als Schifffahrtsstraße eignet.

Die BHU und die Indian Space Research Organisation führten 2020 ausführliche geologische Untersuchungen zur Entwicklung des Flussbetts und dem Verlauf des Assi durch. Ziel war es, den ursprünglichen Verlauf des Flusses zu rekonstruieren und seinen Ursprung zu ermitteln. Dazu wurden unterschiedliche digitale Geodaten ausgewertet.

4.1.3 Besuch Rajiv Gandhi South Campus

Der zweite Campus der BHU liegt süd-westlich von Varanasi nahe der Stadt Mirzapur. Die Fläche von circa 1.100 ha wurde 1979 unbefristet gepachtet. Das Gelände ist sehr weitläufig und ländlich geprägt. So sind auch die Studiengänge in die Forst- und Landwirtschaft ausgerichtet. Östlich des Geländes verläuft der Fluss Majhawati. Zudem befindet sich auf dem Gelände ein Teich, der mit gesammeltem Regenwasser gespeist wird.

Das entstehende Abwasser des gesamten Campus wird aktuell nicht behandelt. Die weite Fläche und die großen Abstände zwischen den einzelnen Gebäuden erschweren die Einführung eines Kanalsystems zur Sammlung des Abwassers und die zentrale Behandlung in einer Kläranlage. Hinzu kommt ein hoher Kosten- und Betriebsaufwand. Die Anwendung von CW zur Behandlung der Abwässer wäre daher eine denkbare Alternative. Sie eignen sich insbesondere für die Anwendung im ländlichen Raum, welcher ähnliche Bedingungen wie das Gelände des Campus aufweist.



Abbildung 24 Wasserreservoir im Rajiv Gandhi South Campus



Abbildung 25 Rajiv Gandhi South Campus

4.2 Goa April 2023

Im Rahmen des Programms "Ausbau des Deutsch-Indischen Kompetenzzentrums für Flussuferfiltration" (CCRBF) zur Stärkung der Bildungs- und Forschungskooperation zwischen Deutschland und Indien im Bereich der Wasserwirtschaft besuchten AKUT

und FHP das Energy and Resource Institute (TERI) in Goa. Das TERI-Büro in Goa wurde 1996 mit dem Ziel gegründet, politische Forschung an der Schnittstelle zwischen Umwelt und Entwicklung zu betreiben. Im Laufe der Jahre hat es Fachwissen in den Bereichen Küsten- und Meeresforschung, Kartierung der biologischen Vielfalt und Bewirtschaftung der Wasserressourcen erworben. Es fördert die Nachhaltigkeit, indem es politische Forschung, Bildung, Lösungen an der Basis und Bewusstseinsbildung umfasst. Das Zentrum verfügt auch über eine kleine Bibliothek mit einer ausgezeichneten Sammlung von Büchern, die der Öffentlichkeit zugänglich ist. Die Hauptziele des Besuchs waren die folgenden:

- a) Vernetzung mit lokalen Interessengruppen in der Wasserwirtschaft: Ziel war es, mit relevanten Personen und Organisationen aus der Wasserwirtschaft in Kontakt zu treten, um mehr über ihre Arbeit zu erfahren und mögliche Partnerschaften zu erkunden.
- b) Suche nach möglichen Partner*innen für die zukünftige Projektplanung: Ziel war es, potenzielle Partner*innen zu identifizieren, die mit uns bei der Planung zukünftiger Projekte zusammenarbeiten können, um gemeinsam Lösungen für Herausforderungen in der Wasserwirtschaft zu entwickeln.
- c) Identifizierung von Unternehmen für die Projektumsetzung: Suche nach Unternehmen, die uns bei der Umsetzung unserer Projekte, insbesondere im Bereich der Abwasserbehandlung, unterstützen können.
- d) Verstehen der aktuellen Situation im Bereich der Abwasseraufbereitung: Ziel war es, ein umfassendes Verständnis für die aktuelle Situation im Bereich der Abwasserbehandlung zu erlangen, um mögliche Lösungen für bestehende Probleme zu entwickeln.
- e) Besichtigung bereits realisierter Projekte: Es war geplant, bereits durchgeführte Projekte zu besuchen, um zu beobachten, wie sie durchgeführt wurden und welche Ergebnisse erzielt wurden, um daraus zu lernen und Ideen für zukünftige Projekte zu sammeln.

4.2.1 Treffen mit der Verna Industries Association

Die Verna Industries Association (VIA) wurde 1996 als örtlicher Lobbyverband gegründet, um mit den verschiedenen Regierungsstellen in Kontakt zu treten und eine Verbesserung der Abläufe im Industriegebiet Verna zu erreichen.

Das Treffen fand bei Micro Labs Limited im Industriegebiet von Verna statt. Micro Labs Limited ist ein vielseitiges Unternehmen des Gesundheitswesens, das sich mit der Herstellung und Vermarktung von pharmazeutischen Produkten und APIs (Active Pharmaceutical Ingredients) befasst. Die folgenden Personen nahmen an dem Treffen teil:

- CEO eines Ingenieurbüros
- Präsident von Goa Investment States
- Präsident des Industrieverbands
- Vertreter der Versorgungsabteilung von Micro Labs
- Anlagenbetreiber für Micro Labs

Während des Treffens hielt Herr Heribert Rustige einen Vortrag über naturbasierte Lösungen für die Abwasserbehandlung mit dem Schwerpunkt auf Industrien und Städten mit begrenztem Raum. Er präsentierte mehrere umgesetzte Beispiele aus China. Anschließend fand eine Diskussion über mögliche Projekte in Goa statt, bei denen diese Lösungen eingesetzt werden könnten. Es wurden Bedenken und Fragen der Teilnehmenden erörtert.

Während des Treffens wurden mehrere mögliche Projekte für eine Zusammenarbeit erörtert. VIA schlug vor, dass die Unternehmen ihre Abwässer nicht einzeln behandeln, sondern sich zusammenschließen und die Abwässer gemeinsam behandeln könnten. Durch die Bündelung von Ressourcen und Fachwissen können sie ein effizienteres Verfahren entwickeln. Dies würde nicht nur die Kosten senken, sondern auch die Einhaltung der Umweltvorschriften gewährleisten. Es ist jedoch wichtig, die rechtlichen Anforderungen an die Abwässer der Pharmaindustrie zu berücksichtigen. Nach den Vorschriften müssen selbst gereinigte Abwässer von Pharmaunternehmen innerhalb der Branche wiederverwendet werden. Daher sollte jede implementierte Aufbereitungslösung diese gesetzliche Verpflichtung berücksichtigen und Möglichkeiten zur produktiven und umweltfreundlichen Nutzung des gereinigten Wassers untersuchen. In Zusammenarbeit mit TERI und Prof. Mutnuri vom Birla Institute of Technology & Science sollten FHP und AKUT einen Vorschlag für eine Machbarkeitsstudie unterbreiten, die eine Kombination aus technischen und naturbasierten Lösungen für die Abwasserbehandlung für dieses Projekt vorsieht.

Die Teilnehmenden des Treffens zeigten sich interessiert an den vorgestellten Projekten und bekannten sich zur Zusammenarbeit und zur Entwicklung von innovativen Lösungen im Bereich der Abwasserbehandlung. Sie waren vor allem an kombinierten Lösungen aus technischen und naturbasierten Lösungen interessiert. Sie betonten auch, wie wichtig es ist, bei der Suche nach praktischen und nachhaltigen Lösungen die Umweltauswirkungen und die rechtlichen Anforderungen zu berücksichtigen. Weitere Diskussionen und Bewertungen werden durchgeführt, um die Durchführbarkeit und die Umsetzungsstrategien für diese Projekte zu bewerten, mit dem Ziel, eine erfolgreiche Zusammenarbeit zu fördern und positive Ergebnisse für alle beteiligten Akteure zu erzielen.

4.2.2 Besuch des Birla Institute of Technology and Science

"Das Birla Institute of Technology & Science, BITS Pilani, ist ein indienweites Institut für höhere Bildung. Das Hauptmotiv von BITS ist es, junge Männer und Frauen auszubilden, die fähig und begierig sind, solche Ideen, Methoden, Techniken und Informationen zu schaffen und in die Tat umzusetzen" (BITS Pilani Overview. (o. D.). <https://bits-pilani.ac.in/Overview>). Das Institut wurde von G.D. Birla gegründet. Sie begann in den frühen 1900er Jahren als kleine Schule und entwickelte sich zu einer Reihe von Hochschulen, die von den Geisteswissenschaften bis zu den Ingenieurwissenschaften reichten, bis 1964 alle diese Hochschulen zu einer einzigartigen indischen Universität von internationalem Rang zusammengelegt wurden. Diese Universität wurde auf den Namen Birla Institute of Technology and Science, Pilani, getauft, vielen auch als BITS, Pilani bekannt.

Prof. Dr. Srikanth Mutnuri arbeitet seit 2005 für den Fachbereich Biowissenschaften am BITS Pilani. Er ist auch Gründer des Unternehmens Bactreat Environmental Solutions LLP, das sich auf die Einrichtung von CW für einzelne Wohnungen, Wohnkomplexe und Schulen spezialisiert hat. Während des Treffens wurden mögliche Kooperationsmöglichkeiten diskutiert. FHP, AKUT und Prof. Mutnuri stellten sich gegenseitig ihr Fachwissen vor. Dies ermöglichte es uns, gemeinsame Interessengebiete zu identifizieren und Möglichkeiten zu erkunden. Die beiden mit Prof. Mutnuri besprochenen potenziellen Kooperationsbereiche konzentrierten sich auf das bereits erwähnte Projekt mit dem Industrieverband sowie auf die Fischzucht in Kreislaufanlagen in der südlichen Region von Goa.



Abbildung 26 Labor von Prof. Mutnuri

Im Hinblick auf die Zusammenarbeit mit dem Industrieverband VIA bekundete Prof. Mutnuri großes Interesse daran, sein Fachwissen in die Entwicklung der Machbarkeitsstudie einzubringen. Sein Forschungshintergrund im Bereich der

Abwasserbehandlung und seine Kenntnisse des indischen Umweltmarktes wären von unschätzbarem Wert bei der Bewertung der technischen Aspekte, der Bestimmung der spezifischen Schadstoffbelastung und der Ermittlung geeigneter Behandlungstechnologien für die gemeinsame Kläranlage. Mit seiner Beteiligung wird eine umfassende und solide Analyse möglich sein, die die Umsetzung dieser gemeinsamen Initiative leiten wird. Es ist von entscheidender Bedeutung, mindestens fünf potenzielle Industrien in der Region Goa zu identifizieren. Als erster Schritt wäre die Entnahme von Abwasserproben aus jedem Industriebetrieb erforderlich, um deren spezifische Schadstoffbelastung zu ermitteln. Diese Daten sollten als Grundlage für die gemeinsame Ausarbeitung einer Machbarkeitsstudie dienen. Das Endziel dieser Zusammenarbeit sollte die Errichtung einer gemeinsamen Kläranlage sein, die den Abwasserbehandlungsbedarf aller beteiligten Unternehmen abdecken kann. Durch die Zusammenlegung von Ressourcen und die gemeinsame Nutzung der Infrastruktur können die Unternehmen Kosteneinsparungen, betriebliche Effizienz und die Einhaltung von Umweltauflagen erzielen. Die Machbarkeitsstudie sollte die technische Anforderungen, die Kosten und die potenziellen Vorteile des Projekts benennen und so eine fundierte Entscheidungsfindung und effektive Planung für die Einrichtung einer gemeinsamen Kläranlage ermöglichen.



Abbildung 27 CW für Oberflächenwasserbehandlung auf dem Campus der BITS



Abbildung 28 Versuchs- und Lehr-Kläranlage auf dem Campus der BITS

Insgesamt zielt die Zusammenarbeit darauf ab, einen kollektiven Ansatz für die Umweltverantwortung im Industriesektor zu fördern, der die Ressourceneffizienz, die Vermeidung von Umweltverschmutzung und die nachhaltige Entwicklung in der Region unterstützt.

Es gab auch die Möglichkeit, verschiedene realisierte Projekte auf dem Campus zu besichtigen. Eines davon war die Biogasanlage, die ursprünglich für die Behandlung von Lebensmittelabfällen konzipiert wurde, jetzt aber zu Versuchszwecken im Labormaßstab genutzt wird. Die Anlage dient als Versuchsfeld für neue Technologien und Verfahren im Bereich der Biogaserzeugung und -nutzung. Ein weiteres Projekt, das während der Besichtigung vorgestellt wurde, war der Sequencing-Batch-Reaktor (SBR) mit einer Kapazität von 250 Kubikmetern. Es wurde jedoch festgestellt, dass der SBR aufgrund der unregelmäßigen Beschickung, die durch die Abwesenheit der Studierenden auf dem Campus während der Ferien verursacht wurde, nicht optimal funktionierte. Um dieses Problem zu lösen, wurde ein eigener SBR mit einer Reaktorkonfiguration mit geringer Belastung entwickelt, die einen kontinuierlichen und effizienten Betrieb während des ganzen Jahres gewährleistet. Außerdem wurde ein CW für die Niederschlagswasserbehandlung vorgezeigt.

Die Interaktion mit Prof. Mutnuri und der Einblick in die durchgeführten Projekte haben eine solide Grundlage für die künftige Zusammenarbeit und den Austausch von Ideen geschaffen. Für die Zukunft ist geplant, den Dialog fortzusetzen, spezifische Projektvorschläge zu untersuchen und einen Rahmen für die Zusammenarbeit zu entwickeln.

Für die Zukunft hat Prof. Mutnuri geplant, Deutschland mit einigen seiner Studierenden zu besuchen. Die Reise befindet sich noch in einem frühen Stadium der Planung. Prof. Mutnuri erwägt die Möglichkeit, Potsdam und Berlin zu besuchen. Die FHP und der AKUT haben angeboten, für die Studierenden eine Tour zu organisieren, bei der sie die Einrichtungen und Labors der FHP besichtigen und verschiedene durchgeführte Projekte im Bereich der Klärschlammaufbereitung in Berlin und Brandenburg besuchen können.



Abbildung 29 Biogasanlage auf dem Campus der BITS

4.2.3 Treffen mit BioUma und Besuch vor Ort

Zunächst gab es die Gelegenheit, das von BioUma realisierte CW zu besichtigen. Es befindet sich in Chicalim, Vasco Da Gama, und behandelt die Abwässer eines Wohnkomplexes. Die Kläranlage verfügt sowohl über horizontale als auch vertikale Strömungskomponenten und eine Zwangsbelüftung. Der Reinigungsprozess umfasst drei Hauptfilter, die der Entfernung von unterschiedlichen Schadstoffen aus dem Abwasser dienen. Bevor das Abwasser in die Bodenfilter gelangt, wird es in einer Faulgrube vorgereinigt. Dieser „Bioklärer“ diente als Vorstufe für den Abbau organischer Stoffe und die Verringerung der Gesamtbelastung, bevor das Abwasser in die Kläranlage gelangt. Die durch die Klärung in den Feuchtgebieten erreichte Wasserqualität entsprach den vorgeschriebenen Normen, und es gab keine spezifischen Beschränkungen durch das Amt für Umweltschutz. Die für das Abwasser festgelegten Parameter waren ein BSB-Wert von unter 20 mg/l und ein CSB-Wert von unter 80 mg/l. Das aufbereitete Wasser

wird für die Bewässerung von Grünanlagen verwendet. Der Besuch vor Ort bot wertvolle Einblicke in die von BioUma entwickelten Bodenfilter.



Abbildung 30 CW von BioUma in Chicalim

Am nächsten Tag wurde ein Treffen mit Ajit Joshi, dem Gründer von BioUma, und seinem Kollegen durchgeführt. BioUma konzentriert sich auf die Behandlung von häuslichen Abwässern mit naturbasierten Lösungen. Vor allem wurde ausführlich über die aktuelle Situation der Abwasserentsorgung in Goa diskutiert. Es wurde festgestellt, dass der Abwassersektor in Goa stark an Bedeutung gewinnt und ein stetiges Wachstum erfährt. Immer mehr Haushalte werden für die Abwasserentsorgung an die öffentlich betriebene Kanalisation angeschlossen. Ziel dieser Bemühungen ist es, die durch unsachgemäße Abwasserentsorgung verursachte Umweltverschmutzung zu verringern und die öffentliche Gesundheit zu schützen. In Goa ist es gesetzlich vorgeschrieben, dass Mehrfamilienhäuser ab einer bestimmten Wohnfläche ihr Abwasser behandeln müssen. Diese Maßnahme stellt sicher, dass größere Gebäude über geeignete Abwasserbehandlungssysteme verfügen, um die Umweltverschmutzung zu minimieren.

Außerdem wurde über die Unterschiede zwischen Deutschland und Indien bei der Abwasserentsorgung gesprochen. Es wurde betont, dass standardisierte Lösungen, die sich in Deutschland bewährt haben, nicht direkt auf andere Regionen der Welt übertragen werden können. Jede Region hat ihre eigenen spezifischen Herausforderungen und Anforderungen an das Abwassermanagement. Unterschiedliche Wassernutzungsmuster und unterschiedliche Wasserverbrauchsniveaus spielen dabei eine große Rolle. In Indien können Abwasserbelastung und -aufkommen aufgrund unterschiedlicher Lebensstile, kultureller Gewohnheiten, Klimazonen und wirtschaftlicher Bedingungen im Vergleich zu Deutschland stark variieren. Daher ist es wichtig,

maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln, die auf die spezifischen Bedürfnisse und Umstände jeder Region eingehen und den lokalen Herausforderungen gerecht werden. BioUma ist an einem wissenschaftlichen Austausch und der Optimierung seiner Klärschlammtechnologie interessiert.

4.3 Varanasi April 2023

Im Rahmen des Besuchs in Varanasi im Jahr 2023 wurden verschiedene Meetings durchgeführt, um die Vernetzung mit der Banaras Hindu University (BHU) zu stärken und einen besseren Einblick in deren interne Strukturen zu erhalten. Ziel war es, eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zu ermöglichen und die Fachbereiche der BHU kennenzulernen. Diese Treffen boten auch die Gelegenheit, das Grundkonzept von Constructed Wetlands (CW) sowie die Arbeit von AKUT und der FHP vorzustellen und das lokale Projekt in Zusammenarbeit mit Prof. Virendra Mishra einzuführen.

Ein wichtiger Bestandteil der Besuchsaktivitäten war das Treffen mit verschiedenen Dekanen der unterschiedlichen Fakultäten der BHU. Durch diese Begegnungen wurde eine interdisziplinäre Vernetzung ermöglicht, da die Dekane aus verschiedenen Fachbereichen kamen. Dies ermöglichte nicht nur einen Überblick über die vorhandenen Fachbereiche an der BHU, sondern erleichterte auch das Verständnis für potenzielle Schnittstellen und Kooperationsmöglichkeiten. Während dieser Treffen wurde das grundlegende Konzept von Constructed Wetlands erläutert sowie die Ziele und Aktivitäten des lokalen Projekts vorgestellt, das in Zusammenarbeit mit Prof. Virendra Mishra durchgeführt wurde.

Ein weiteres wichtiges Meeting fand mit Prof. B.D. Tripathi statt, einem Professor für Botanik an der BHU, der sich seit langem aktiv mit dem Assi River befasst und umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt hat. Dieses Treffen bot die Möglichkeit, tiefgehende Gespräche über die langfristigen Probleme des Assi River zu führen und die Ergebnisse seiner Forschung zu diskutieren. Darüber hinaus wurde der Austausch über potenzielle Kontakte in der Politik und anderen Gremien gefördert, um das Konzept von Constructed Wetlands vorzustellen und mögliche Unterstützung für die Umsetzung zu gewinnen.

Insgesamt trugen die verschiedenen Meetings während des Besuchs in Varanasi dazu bei, die Zusammenarbeit zwischen der BHU und den beteiligten Partner*innen zu stärken und den Austausch von Wissen und Erfahrungen zu fördern. Durch die Vorstellung des Konzepts von Constructed Wetlands und die Diskussion über lokale Herausforderungen und Forschungsergebnisse konnten wichtige Grundlagen für zukünftige Kooperationsprojekte gelegt werden.

4.4 Besuch Dresden und Berlin 2023

Im Oktober 2023 besuchten mehrere Projektpartner*innen aus Indien Deutschland. Anlass war die durch die HTW Dresden organisierte internationale Konferenz zur Uferfiltration und die anschließend Exkursion in Berlin, organisiert durch die FHP und AKUT.

4.4.1 RBF Konferenz Dresden

Vom 16. Bis 18. Oktober wurde die „International Riverbank Filtration Conference“ in Dresden von der HTW Dresden ausgerichtet. Thematisch ging es in insgesamt vier Sessions um die Entwicklung der Uferfiltration, Herausforderungen, geohydraulische Aspekte und Systemdesign; Aspekte der Wasserqualität; Standortuntersuchungen und Charakterisierung und Modellierung und weltweite Fallstudien und Nachbehandlung. Eine Teilnahme an der Konferenz erfolgte durch Frau Hartfiel. Trotz des thematischen Schwerpunktes Uferfiltration war die Teilnahme durch die Möglichkeit der Vernetzung mit internationalen Akteur*innen im Wasserwesen sehr bereichernd. Zudem gab es ein erstes Kennenlernen der Teilnehmenden der darauffolgenden Berlin Exkursion.



Abbildung 31 Gruppenfoto RBF Konferenz in Dresden

4.4.2 Exkursion Berlin

Am ersten Tag der Exkursion nach Berlin wurden alle Teilnehmenden in den Räumlichkeiten von AKUT empfangen. Nach einer kurzen Vorstellungsrunde und einem ersten Austausch über die jeweiligen Tätigkeiten, gab es eine kurze Präsentation zu der Arbeit von AKUT und der FHP in Berlin und international. Es wurden bisherigen Projekte und Ansätze zur naturnahen Abwasserbehandlung und -verwertung vorgestellt. Diese Einblicke bildeten eine solide Grundlage für weitere Diskussionen über mögliche

gemeinsame Projekte und Kooperationen. Nach dem informellen Teil fand ein gemeinsames Abendessen statt, bei dem die Gelegenheit bestand, weiter über potenzielle Zusammenarbeitsmöglichkeiten zu sprechen.



Abbildung 32 Vorbereitende Besprechung zur Exkursion in Berlin bei AKUT

Für den zweiten Tag des Besuchs waren verschiedene Exkursionen geplant. Zuerst wurde die Kläranlage Lobetal besucht, die bereits in den 1990er Jahren als Pflanzkläranlage durch AKUT geplant wurde und nun durch den Wasser- und Abwasserverband „Panke/ Finow“ betrieben wird. Die Anlage umfasst eine Vorreinigungsstufe, bestehend aus Rechenanlage und Sandfang und eine biologische Reinigungsstufe mit Fäkalwasser- und Vorspeicher und SBR- Becken. Das behandelte Abwasser wird über ein künstliches Feuchtgebiet in das Upstallfließ eingeleitet. Vor Ort fand eine fachkundige Führung durch den Klärmeister statt, der detaillierte Einblicke in die Funktionsweise der Anlage gab. Anschließend wurden die zugehörigen Klärschlammvererdungsfilter besichtigt.



Abbildung 33 Zulaufverteilerbauwerk CW Lobeta



Abbildung 34 Constructed wetland Lobetal

Der zweite Teil des Tages war eine Exkursion nach Hobrechtsfelde, wo das Infozentrum "Gut Hobrechtsfelde" besucht wurde. Ende des 19. Jahrhunderts befanden sich dort die Berliner Rieselfelder, die einen Großteil des Abwassers der Stadt behandelten und somit einen Grundstein für die Abwasserbehandlung und Kanalisation Berlins

legten. Im alten Kornspeicher, der heute als Museum dient, gab eine Führung für die Gruppe. Dabei ging es vor allem um die Entwicklung und Ausführung der Abwasserbehandlung durch die Rieselfelder, aber auch um die Geschichte des Ortes und seine Bedeutung für die Region. Die Besichtigung ermöglichte es, mehr über die ökologischen und historischen Aspekte dieses Gebiets zu erfahren und die Bedeutung von Naturschutz und nachhaltiger Landnutzung zu erkennen. AKUT präsentierte das bereits 2005 hier errichtete CW, das der Nachbehandlung und Wiederverwertung von Abwasser aus dem Klärwerk Nord der Berliner Wasserbetriebe dient.

Die gesamte Exkursion wurde mit einem gemeinsamen Dinner und einer kleinen Stadtführung durch Berlin beendet.



Abbildung 35 Erklärung Kornspeicher



Abbildung 36 Modellerklärung Rieselfelder

4.5 Roorkee und Dehradun

Die Konferenz Roorkee Water Conclave 2024 im März 2024 war eine gute Möglichkeit zur erneuten Vernetzung, insbesondere mit TERI. Es wurde nochmal gemeinsam das Projekt in Kooperation mit dem Industrieverband in Goa besprochen und eine mögliche Zusammenarbeit gefestigt.

Im Anschluss wurde ein Besuch mit allen anwesenden CCRBF Partner*innen in Dehradun geplant, der als Abschluss des CCRBF Projektes dienen sollte. Es waren mehrere Exkursionen und Austauschtreffen geplant. In Dehradun ist der Hauptsitz der staatlichen Wasser- und Abwasserbehörde, die für den indischen Staat Uttarakhand. UJS – Uttarakhand Jal. Bei einem gemeinsamen Meeting konnte sich der Verband und seine Arbeit vorstellen.

Es wurde die Kläranlage Rishikesh besichtigt. Die KA ist eine SBR-Anlage und behandelt große Teile des Abwassers vom linken Ufer des Ganges. Technisch war die Anlage sehr gut ausgestattet beispielsweise mit Online-Messtechnik (TOC, Stickstoff,

Ammonium, TF, CSB, BSB für Zu- und Ablauf). Die Anlage war zudem in einem sehr guten Zustand und konnte sehr gute Ablaufwerte vorweisen.



Abbildung 37 SBR-Anlage Rishikesh

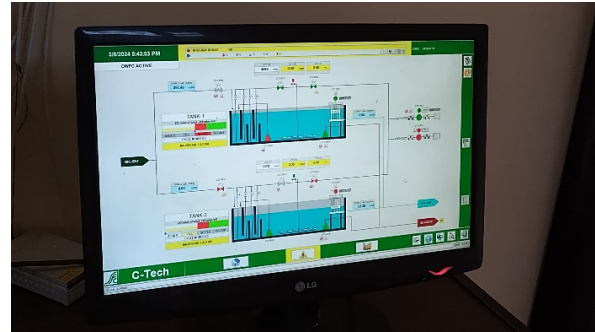


Abbildung 38 Online Messtechnik

Die zweite Exkursion führte zum Wasserwerk in Haridwar. Die Wasseraufbereitungsanlage ist mit Uferfiltrationsbrunnen ausgestattet, die im Rahmen des CCRBF Projektes entstanden sind.



Abbildung 39 Wasseraufbereitungsanlage Haridwar Uferfiltrations-Demonstrationsbrunnen 18



Abbildung 40 Wasseraufbereitungsanlage Haridwar

5 Assi River Restauration

Eines der innerhalb des CCRBF Projektes erreichten Ziele ist die Prüfung der Eignung von CW zur Renaturierung des Flusses Assi in der Pilgerstadt Varanasi sowie die Anforderungen an ein solches Entwicklungskonzept.

5.1 Kurzfassung

Der städtische Fluss Assi in Varanasi ist durch die Müllentsorgung stark verschmutzt und erfordert umfassende Maßnahmen zu seiner Revitalisierung. Diese Studie untersucht die Eignung von Constructed Wetlands zur Umsetzung eines integrierten Konzepts für die Entwicklung des Assi-Flusses, dass sich auf die Wiederbelebung städtischer Räume und Gewässer in Varanasi konzentriert. Der vorgeschlagene Assi River

Action Plan (NGT 2021) verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz, indem er naturbasierte und technische Lösungen kombiniert, um der Umweltzerstörung des Flusses entgegenzuwirken.

Im Mittelpunkt des Plans steht die Erhaltung und Wiederherstellung des Ökosystems des Flusses Assi. Die Verringerung der Umweltverschmutzung und die Verbesserung der Wasserqualität haben durch eine Kombination aus Abwassermanagement, Strategien zur Schadstoffreduzierung und der Einbindung grüner Infrastruktur Priorität. Ein bemerkenswerter Aspekt des Plans ist die Nutzung von Feuchtgebieten, die eine Vielzahl von Vorteilen bieten, darunter Hochwasserschutz, Lebensraum für Wildtiere und natürliche Wasserreinigung. Diese Feuchtgebiete sind strategisch so angelegt, dass sie verschiedene Funktionen erfüllen, darunter die Behandlung von Mischabwasser und Oberflächenabfluss.

Darüber hinaus unterstreicht das integrierte Konzept das sozioökonomische Potenzial des Flusses Assi. Durch die Fokussierung auf seine Entwicklung zielt der Plan darauf ab, Vorteile zu erzielen, die über Umweltverbesserungen hinausgehen. Revitalisierte Flussufer und umliegende Gebiete können als lebendige öffentliche Räume dienen und das Engagement der Gemeinschaft sowie Freizeitmöglichkeiten fördern. Darüber hinaus besteht die langfristige Vision des Plans darin, die Widerstandsfähigkeit der Stadt gegenüber Klimawandel und Naturkatastrophen zu stärken und so die Nachhaltigkeit der vorgeschlagenen Interventionen sicherzustellen.

5.2 Einführung

Der Fluss Assi, der sich durch die Stadt Varanasi in Indien schlängelt, symbolisierte einst die kulturelle und spirituelle Essenz der Region. Im Laufe der Zeit hat der Fluss jedoch eine beunruhigende Veränderung erfahren, die vor allem auf die Einleitung häuslicher Abwässer zurückzuführen ist. Was einst ein fließender Fluss war, hat sich im Wesentlichen in einen offenen Abwasserkanal verwandelt.

Als Reaktion auf diese Umweltherausforderung wurde zwischen 2018 und 2020 die Kläranlage (STP) Ramana installiert, die über eine beträchtliche Reinigungskapazität von 50 Millionen Litern pro Tag (MLD) verfügt. Während die Kläranlage Ramana die Belastung des Ganges an der Mündung des Assi verringert, ist sie nicht in der Lage, dem innerstädtischen Problem des verschmutzten Flusses dort wirksam entgegenzuwirken.

Angesichts der dringenden Notwendigkeit einer umfassenderen und nachhaltigeren Lösung entstand im Jahr 2021 in Folge einer Anordnung des National Green Tribunal, ein Aktionsplan mit dem übergeordneten Ziel der Wiederherstellung und

Renaturierung des Assi. Im Rahmen des Aktionsplans wurden schließlich Constructed Wetlands (CW) als Schlüsselkomponente des ganzheitlichen Ansatzes zur Revitalisierung des Assi-Flusses identifiziert.

Im Folgenden wurde das Potenzial für die Implementierung von Constructed Wetlands und das Potenzial für die Regenwasserrückhaltung und die Wirksamkeit dezentraler Maßnahmen untersucht.

5.3 Bedingungen und Probleme des Assi-Flusses



Abbildung 41 Gravierende Verschmutzungen im Assi River

Der Assi-Fluss ist ein 5,5 km langer Fluss im indischen Bundesstaat Uttar Pradesh. Es handelt sich um einen Nebenfluss des Ganges, der als Entwässerungssystem für die Stadt fungiert und Schmutz- und Abwasser zum Ganges leitet. Sie beginnt an einem Teich namens Kerd Maheshwar Pond, der sich auf Breitengrad $25^{\circ}16'37.28''\text{N}$, $82^{\circ}58'17.60''\text{E}$ befindet, und verläuft durch die Stadt Varanasi. Der Fluss hat eine Breite von bis zu 6 bis 10 Metern und eine durchschnittliche Fließgeschwindigkeit von 100 MLD am Ende. Die Quelle des Flusses Assi ist schwer zu lokalisieren. Ein von Stufen begrenzter Teich ist das erste sichtbare Zeichen des Flusses. Es gibt alte unterirdische Zuflüsse, die möglicherweise nicht mehr funktionieren, und die genaue Lage der Flussmündung ist unbekannt. Der Teich wird von Menschen zum Baden,

Wäschewaschen und für andere Aktivitäten genutzt. Der Fluss Assi endet am Sant Ravidas Ghat, der früher am Assi Ghat lag.

Aufgrund der wachsenden Bevölkerung und Entwicklung der Stadt ist der Fluss Assi auch in Ufernähe stark bebaut, insbesondere in Form von Privathäusern. Dies hat zu einer erhöhten Abflussmenge aus diesen Strukturen geführt und den Fluss weiter verschmutzt. Auch der natürliche Verlauf des Flusses wurde durch eigenmächtige Bau- und Eingriffe stark beeinträchtigt und es kam zu Verengungen, die das Risiko von Überflutungen erhöhen. Auch durch den Bau einer Autobahn wurde der natürliche Verlauf des Flusses unterbrochen. Diese Bauten behindern nicht nur den natürlichen Abfluss, sondern tragen auch zur Umweltverschmutzung bei.

5.4 Action Plan

Die Situation des Assi-Flusses ist besorgniserregend, insbesondere aufgrund der kontinuierlichen Einleitung häuslicher Abwässer, die den Fluss praktisch in einen offenen Abwasserkanal verwandeln. Obwohl im Jahr 2020 die KA Ramana mit einer Reinigungskapazität von 50 MLD (Millionen Liter pro Tag) eingerichtet wurde, scheint diese nicht ausreichend zu sein, um die tatsächlichen Probleme anzugehen. Die bestehenden Probleme erfordern daher einen umfassenden Ansatz, der über bisherige Maßnahmen hinausgeht.

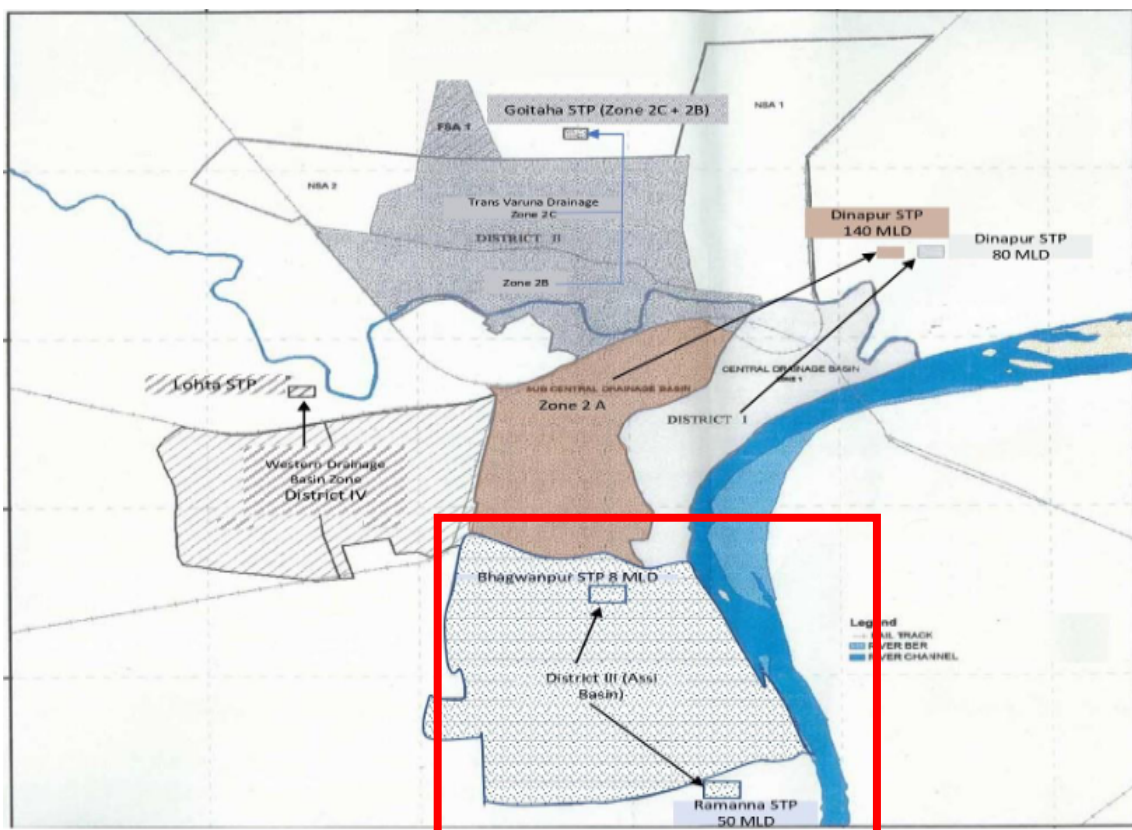


Abbildung 42 Einzugsgebiete der vorhandenen Kläranlagen im Assi River Gebiet

Vor diesem Hintergrund haben sich verschiedene Interessengruppen und Organisationen zusammengeschlossen, um einen umfassenden Aktionsplan zu entwickeln, der darauf abzielt, die Situation des Assi-Flusses nachhaltig zu verbessern. Im Jahr 2021 verabschiedete das National Green Tribunal (NGT) einen Aktionsplan zur Wiederbelebung und Wiederherstellung der Flüsse Varuna und Assi.

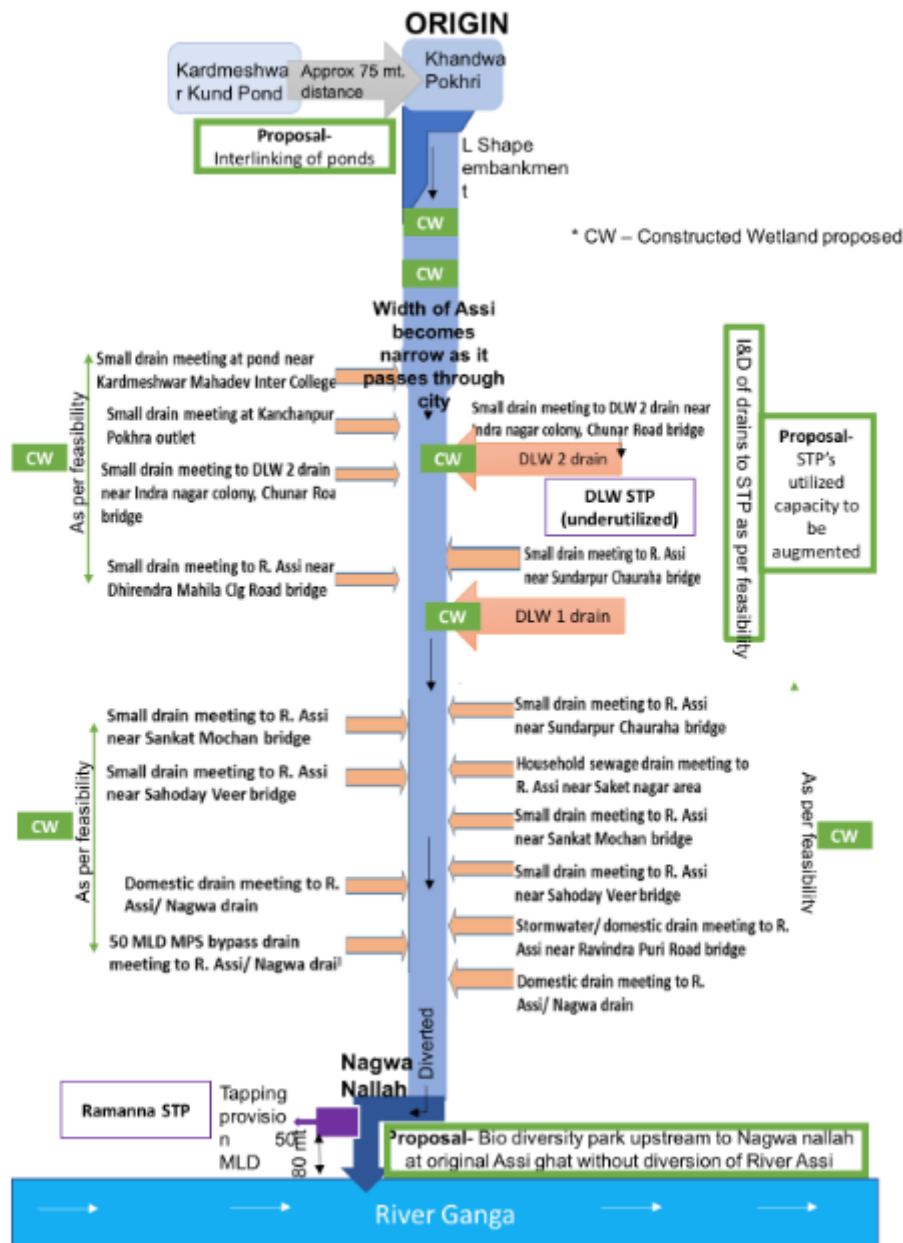


Abbildung 43 Schema Maßnahmen-Plan für den Assi river (Action plan, 2021)

Der Aktionsplan zielt darauf ab, Ziele und Zielsetzungen zur Renaturierung des Assi mit Schwerpunkten in verschiedenen Bereichen aufzuzeigen. Einer der Hauptaspekte ist die Verbesserung der menschlichen Gesundheit durch Maßnahmen zur effektiven Abwasser- und Oberflächenabflussbewirtschaftung. Durch eine saubere Stadtumgebung soll nicht nur die Lebensqualität der Bewohner verbessert, sondern auch die

Umweltbelastung reduziert werden. Ein weiteres Ziel des Aktionsplans ist die Förderung dezentraler Maßnahmen, um eine effizientere Nutzung und Verteilung von Ressourcen zu gewährleisten. Dabei wird insbesondere auf die Entwicklung von Auenlandschaften und die Schaffung von Biodiversitätsparks Wert gelegt. Diese Maßnahmen sollen nicht nur die natürliche Umgebung schützen und erhalten, sondern auch zur Erholung und Freizeitgestaltung der Bevölkerung beitragen. Durch die Umsetzung des Aktionsplans sollen die Flusslandschaften revitalisiert und die Biodiversität in städtischen Gebieten gefördert werden. Dies trägt nicht nur zum Erhalt der ökologischen Vielfalt bei, sondern wirkt sich auch positiv auf das städtische Mikroklima und das Wohlbefinden der Bewohner aus.

Insgesamt stellt der Aktionsplan einen umfassenden Ansatz dar, um die Lebensqualität in städtischen Gebieten zu verbessern und gleichzeitig einen nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen zu fördern. Durch die Umsetzung konkreter Maßnahmen sollen die gesteckten Ziele erreicht und eine positive Entwicklung in Richtung einer sauberen und gesunden Stadtumgebung vorangetrieben werden.

5.5 Bewertung

Ein realistisches Konzept differenziert zwischen mittel- und langfristigen Zielen. Primär sind die Maßnahmen anzugehen, die schnell und kostengünstig umgesetzt werden können und gleichzeitig einen wirkungsvollen Effekt auf die Reduzierung der Verschmutzung des Assi-Flusses haben.

Die Identifizierung von Brennpunkten direkter Abwassereinleitung und diffuser Verschmutzung ist für die Entwicklung effektiver Managementstrategien von entscheidender Bedeutung. Solche Hotspots der direkten Abwassereinleitung können durch Inspektionen von Abwassersystemen identifiziert werden. Eine diffuse Verschmutzung lässt sich erkennen, indem man den Fluss auf Schadstoffe wie Nährstoffe, Sedimente und Krankheitserreger überwacht. Sobald sie identifiziert sind, können Maßnahmen zur Reduzierung der Verschmutzung ergriffen werden, wie z. B. der direkte Anschluss von Standorten an Kläranlagen oder die Umsetzung bewährter Managementpraktiken zur Reduzierung der diffusen Verschmutzung an ihrem Ursprung entlang des Flusses.

Trotz der Herausforderungen, denen sich der Assi-Fluss gegenüberstellt, besteht Potenzial für eine nachhaltige Entwicklung des Flusstals. Die natürlich grüne Umgebung des Flusstals ist eine wertvolle Ressource, die zum Nutzen von Bürger*innen und Besuchenden sowie zur Förderung der Stadtökologie genutzt werden kann. Dieses Potenzial bleibt jedoch ungenutzt, da kaum Anstrengungen unternommen wurden, um das Gebiet zu entwickeln. Feuchtgebiete können zahlreiche Vorteile bieten, etwa als Hochwasserschutz, Lebensraum für Wildtiere und Wasseraufbereitung. Die

Gestaltung von Feuchtgebieten mit unterschiedlichen Funktionen erhöht den ökologischen und sozialen Nutzen des Flusses. Feuchtgebiete können Mischabwasser (CSO) behandeln, insbesondere nach dem Anschluss von Abwasserleitungen an die zentrale Kläranlage oder zur Behandlung diffuser Oberflächenabflüsse. Darüber hinaus können sie als vielseitige grüne Pufferzonen gestaltet werden, die Natur-, Erholungs- und Umweltfunktionen vereinen. Grünflächen und Parks mit Wasseraufbereitungsfunktionen können in die Stadtentwicklung einbezogen werden, um Wärmeinseleffekte zu reduzieren.

Der Einsatz dezentraler kleiner Kläranlagen einschließlich naturnaher Systeme kann kurzfristig sehr effektiv sein, anstatt ganze Wasserläufe mit einer einzigen großen Kläranlage zu behandeln. Kleine Kläranlagen können strategisch platziert werden, um Abwasser aus bestimmten Bereichen oder Gebäuden als Hotspots zu behandeln, bevor sie in den Assi gelangen, wodurch die Kosten für den Abwassertransport gesenkt und technische Probleme beim Bau neuer Abwasserleitungen in bestehenden Altstädten vermieden werden.

Insgesamt ist der Ausbau der Abwasserinfrastruktur einer der wichtigsten Bausteine einer nachhaltigen Entwicklung. Um eine effektive Abwasserbewirtschaftung zu gewährleisten, ist es langfristig notwendig, das besiedelte Einzugsgebiet des Flusses Assi vollständig an ein Abwassersystem anzuschließen, das zur Kläranlage führt. Daher ist die Installation eines separaten Abwasserkanals entlang des Flusslaufs unerlässlich. In diesem Abwasserkanal werden sämtliche Abwässer aus Haushalten und anderen Quellen gesammelt, die zuvor ungeklärt in den Fluss gehen. Durch die Kombination von Pumpstationen und Schwerkraftkanalisation kann die Effizienz der Abwassersammlung und -aufbereitung verbessert werden.

Für den Bau der Abwasserleitungen empfiehlt es sich, von der stromabwärts gelegenen Pumpstation auszugehen und jeweils bereichsweise stromaufwärts zu verbinden. Dieser Ansatz wird zur effizienten Abwasserbewirtschaftung beitragen. Durch den Start oberhalb der vorhandenen Pumpstation wird es einfacher, die Abwasserleitungen anzuschließen und sicherzustellen, dass das Abwasser nach dem Anschluss direkt zur Kläranlage fließt.

Trotz der zu fordernden langfristigen Installation des separaten Abwasserkanals wird es dann immer noch notwendig sein, den verbleibenden Mischwasserüberlauf (CSO) zu behandeln. Diffuse Abflussquellen wie Regenwasser können nicht vollständig beseitigt werden. Um CSO zu behandeln und die Verschmutzung aus Nebenströmen zu verringern, werden weiterhin dezentrale Kläranlagen benötigt.

Wenn das Konzept vollständig umgesetzt ist, wird der zentralen Kläranlage überwiegend kommunales Schmutzwasser zugeführt, während nur noch das Niederschlagswasser nach dezentralen Vorbehandlungsanlagen in den Fluss gelangt.

Auch ein weitergehendes „Schwammstadt“-Konzept basiert auf einer langfristigen Strategie, die auf einem dezentralen Regenwassermanagement basiert, um die Hochwasseranfälligkeit der Stadt wirksam zu verringern.

Der Kern des international als Sponge City benannten Konzepts liegt in der Integration von Wasserrückhaltekapazitäten in die Infrastruktur der Stadt. Dazu gehören innovative Designs, die Gebäuden, Straßen und Freiflächen die Fähigkeit verleihen, Regenwasser aufzunehmen und zurückzuhalten, wodurch die Abhängigkeit von herkömmlichen Entwässerungssystemen verringert wird. Ein solcher dezentraler Ansatz erhöht nicht nur die Widerstandsfähigkeit gegen Überschwemmungen, sondern trägt auch zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung bei.

Über die funktionalen Aspekte des Regenwassermanagements hinaus würde ein solches Konzept die Schaffung strategisch platzierter Grünflächen mit Rückhaltefunktion in ganz Varanasi vorsehen. Solche Grünflächen fördern nicht nur die ökologische Nachhaltigkeit, sondern haben auch einen bedeutenden sozialen Einfluss auf die Stadtentwicklung.

So trägt die Einführung von Grünflächen in öffentlichen Bereichen zum allgemeinen Wohlbefinden der Gemeinschaft bei und bietet Rückzugsorte für Entspannung, soziale Interaktion und kulturelle Aktivitäten. Durch die Interaktion der Bewohner mit diesen Grünflächen wird das Gemeinschaftsgefühl gefördert und ein harmonischeres städtisches Umfeld gefördert.

Insgesamt stellt ein Sponge City-Konzept einen umfassenden städtebaulichen Ansatz dar. Durch die strategische Integration von Wasserrückhaltekapazitäten und die Schaffung von Grünflächen für die Öffentlichkeit begegnet die Stadt nicht nur Hochwasserisiken, sondern bemüht sich auch um den Aufbau einer nachhaltigeren, sozial lebendigeren und widerstandsfähigeren Stadtlandschaft.

5.6 Integration naturnaher Lösungen

Großflächige naturbasierte Lösungen kommen dort sinnvoll zum Einsatz, wo eine hohe Abflusssdynamik herrscht und die Systeme eine große Rückhaltekapazität bereitstellen. Für einen solchen unmittelbaren Einsatz an Gewässern kommen Schilfpolder oder Retentionsbodenfilter in Frage.

Retentionsbodenfilter, auch Biofilter oder Bioretentionssysteme genannt, zeichnen sich dadurch aus, abfließendes Regenwasser oder Mischwasserüberläufe

aufzufangen, zu filtern und zu behandeln, bevor es in natürliche Gewässer oder den Untergrund fließt.

Retentionsbodenfilter tragen nicht nur zur Verbesserung der Wasserqualität bei, sondern spielen auch eine Rolle beim Hochwasserschutz, indem sie die Menge und den Durchfluss des Regenwassers steuern.

Aufbau von Retentionsbodenfiltern

Der Bau eines Retentionsbodenfilters erfordert eine systematische Anordnung der Schlüsselkomponenten zur effektiven Abwasserbewirtschaftung. Der Prozess beginnt mit einer Sedimentationskammer, Absetzbecken oder Durchlaufbecken, die als Vorstufe für das Absetzen größerer Partikel und Sedimente dient. Ein Zulaufbauwerk verteilt das ankommende Abwasser effizient innerhalb des Systems (siehe auch Abb. 44).

Der Kern der Struktur ist der Retentionsraum, der eine ausgewiesene Höhe (0,3 m – 2 m) für die vorübergehende Speicherung von Abwasser bietet und so eine schrittweise Versickerung und Behandlung ermöglicht. Darunter befindet sich der Filterkörper in dem das Wasser während der Perkolation biologisch gereinigt wird.

Die Ablaufdrossel, steuert die Abflussrate des aufbereiteten Wassers, verhindert plötzliche Freisetzungen und reguliert den Fluss stromabwärts. Darüber hinaus dient ein Filterüberlauf als Schutzmechanismus für überschüssiges Wasser und verhindert so eine Überlastung des Systems und mögliche Schäden. Diese systematische Anordnung gewährleistet eine gründliche Abwasserbehandlung von der Sedimentation über die Filtration bis hin zur kontrollierten Ableitung und fördert so ein effizientes und umweltbewusstes Wassermanagement im errichteten Retentionsbodenfilter.

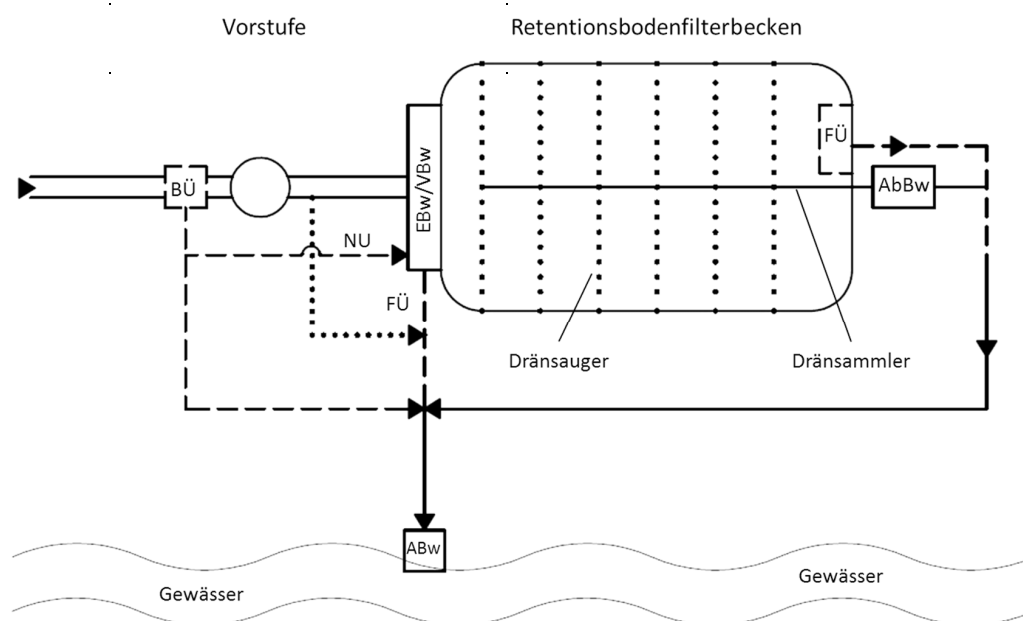


Abbildung 44 Fließschema Bodenfilter (DWA A 178)

5.7 Bemessungsansatz

Ein Retentionsbodenfilter ist auf das Einzugsgebiet abzustimmen. Die Größe der Einzugsgebiete bzw. die Fläche der Bodenfilter entlang der Fließstrecke des Vorfluters beträgt mindestens 0,5 Prozent des Einzugsgebietes (EZG). Diese Relation ist entscheidend für die Berechnung der erforderlichen Kapazität des Filtersystems. Für die ersten Knotenpunkte dieser Berechnungen wurde ein EZG von etwa 60 Hektar angenommen, was einer benötigten Filteroberfläche von rund 3.000 Quadratmetern entspricht.

Das Filtersystem ist als Retentionsfilter konzipiert und zeichnet sich durch einen alternierenden Betrieb aus, der auf vier Teilfilterflächen basiert, jede mit einer Fläche von etwa 1.500 Quadratmetern. Diese Struktur ermöglicht eine effiziente Nutzung und Regeneration der Filterflächen im Wechsel. Der Zulauf erfolgt über drei Schneckenpumpen, die eine gleichmäßige Verteilung des Abwassers über die Filteroberfläche gewährleisten. Der Ablauf erfolgt über ein Drosselbauwerk, das ein kontrolliertes und gleichmäßiges Abfließen des gereinigten Wassers ermöglicht und dabei die natürlichen Gefälle des Geländes nutzt.

Zur Überwachung und Kontrolle des Systems sind verschiedene Messstellen für den Wasserstand und Probeentnahmestellen vorgesehen. Diese dienen der regelmäßigen Überprüfung der Filterleistung sowie der Gewinnung von Proben zur Analyse der Wasserqualität. Durch eine sorgfältige Planung und Positionierung dieser Messpunkte wird eine umfassende Überwachung des Filtersystems gewährleistet, um eine effektive Betriebsführung zu ermöglichen und gegebenenfalls erforderliche Anpassungen vorzunehmen.

Insgesamt stellt die detaillierte Beschreibung des Filtersystems und seiner Betriebsabläufe die Grundlage für die Planung und Umsetzung von Abwasserbehandlungsanlagen dar. Durch die Berücksichtigung verschiedener Parameter wie Flächenverhältnisse, Betriebsmodi und Überwachungsmechanismen wird eine effiziente und zuverlässige Funktionsweise des Systems sichergestellt, die zur Gewährleistung einer nachhaltigen Abwasserbehandlung beiträgt.

Potentialflächen

Für die Beispielrechnung wurde der erste Knoten des Assis-Einzugsgebiets ausgewählt. Dies ist in Abbildung 45 zu sehen. Insgesamt wurden drei Potentialflächen ausgemacht, die an dem Knotenpunkt verfügbar wären. Es wurde sich für die Potentialfläche 3 entschieden, aufgrund ihrer Größe. Die Fläche beträgt ca. 12.000 m² und ist derzeit ungenutzt.



Abbildung 45 Lageplan mit Potentialflächen für RBF (Karten-Quelle google.maps)

Untersuchung von Oberflächenabfluss und Abwassereinleitung

Unter Berücksichtigung der Behandlungskapazitäten der beiden Kläranlagen, des durchschnittlichen Durchflusses des Flusses Assi, der Größe seines Einzugsgebiets und des durchschnittlichen Niederschlags konnte ein ungefährender Abflusskoeffizient ermittelt werden.

Tabelle 5 Untersuchung von Oberflächenabfluss und Abwassereinleitung

Action plan river Assi, 2021		July	Year
Treatment capacity (STPs Ramana + Bhagwan Pur)	m ³ /d	58.000	58.000
Flow rate (action plan/ own estimation)	m ³ /d	100.000	37.726
Sewage potential (= water supply)	m ³ /d	26.000	26.000
Storm water fraction in river	m ³ /d	74.000	11.726
Stormwater runoff			
Catchment area of river Assi	km ²	13,8	13,8
Average precipitation in Varanasi	mm	310	1.034
Daily amount of precipitation in area	m ³ /d	137.955	39.086
runoff in river Assi (as calculated in 2019)	m ³ /d	74.000	11.726
resulting/ estimated runoff coefficient		54%	30%

Bemessung von Systemen zur Behandlung von Regenwasserabfluss: Niederschlag

Die monatliche Regenverteilung in Varanasi, basierend auf Daten von Wikipedia, zeigt, dass die jährliche Niederschlagsmenge etwa 1.000 mm beträgt. Die höchsten Niederschlagsmengen treten in den Monaten Juli bis September auf, wobei im Durchschnitt mehr als 250 mm pro Monat zu verzeichnen sind. Gemäß dem deutschen Standardziel für die Abwasserbehandlung von 85% müssen alle Abflüsse, die weniger als 13,7 mm pro Tag betragen, behandelt werden. Während der Monate Juli bis September gibt es insgesamt 49 Regentage, und im Jahresverlauf summieren sich die Regentage auf insgesamt 71 Tage (siehe auch Abb. 46). Diese Daten sind entscheidend für die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Bewältigung von Oberflächenabflüssen und zur effektiven Abwasserbehandlung in Varanasi.

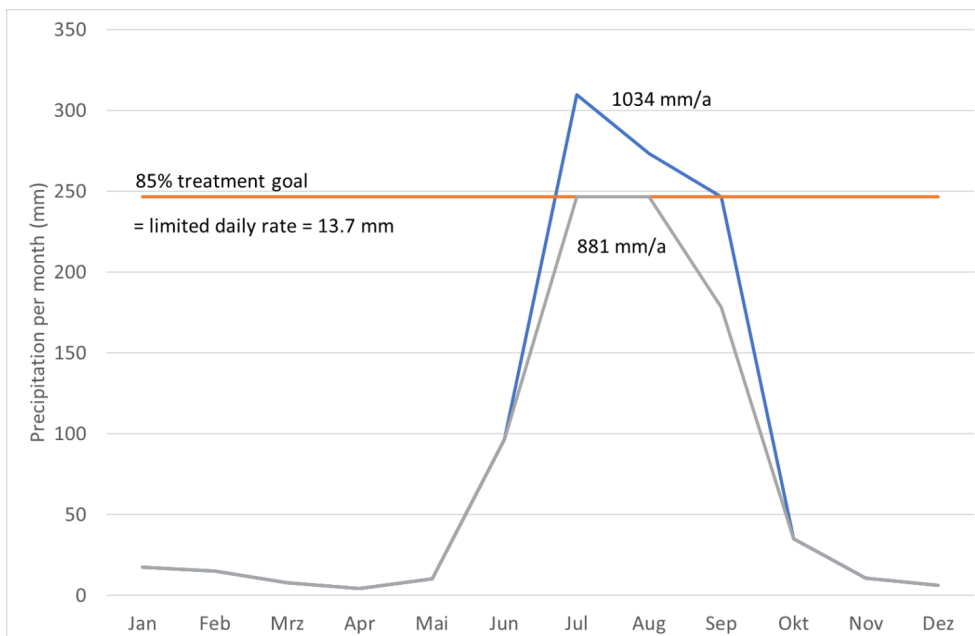


Abbildung 46 Durchschnittliche Niederschlagshöhen im Jahresverlauf in Varansi und behandelbare Niederschlagshöhen bei einem Ziel von 85% hydraulischem Wirkungsgrad (graue Kurve)

Vorbehandlung

Da es sich bei dem Zulauf um gemischtes Abwasser handelt, ist eine Vorbehandlung erforderlich, bevor es in den Retentionsbodenfilter gelangt. In diesem Vorschrift wird das gemischte Abwasser zur effektiven Vorbehandlung in ein Absetzbecken geleitet. Das Absetzbecken dient als wichtige Vorbehandlungskomponente und ermöglicht die anfängliche Absetzung und Trennung größerer Partikel und Sedimente aus dem gemischten Abwasser. Dieser primäre Klärprozess trägt dazu bei, die Belastung des Retentionsbodenfilters mit groben Materialien zu reduzieren und dessen Gesamteffizienz zu verbessern.

Durch den Einbau eines Sedimentationsbeckens als Vorbehandlungsstufe kann der Retentionsbodenfilter optimal funktionieren und sich auf die Feinfiltration und Reinigung des Abwassers konzentrieren. Diese strategische Vorbehandlung verbessert nicht nur die Leistung des Retentionsbodenfilters, sondern gewährleistet auch einen effektiveren und nachhaltigeren Behandlungsprozess für das gemischte Abwasser.

Retentionsbodenfilterkörper

Im Folgenden wird der Aufbau des Filterkörpers in der Reihenfolge von oben nach unten mit den entsprechenden Schichthöhen in Metern beschrieben. Der Filter hat eine Gesamthöhe von mindestens 1,4 Metern.

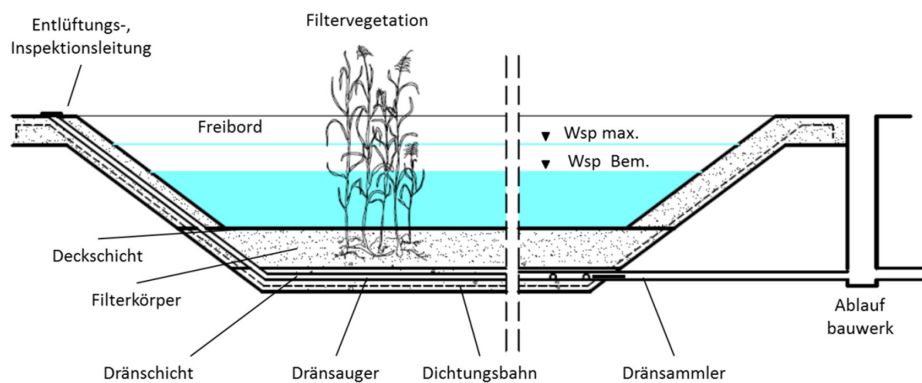


Abbildung 47 Schematischer Querschnitt eines Retentionsbodenfilterbeckens RBF (DWA A 178))

Als Material für die Filterschicht empfiehlt DWA die Verwendung von Ton und Schluff, feinem Sand, mittlerem Sand, grobem Sand und feinem Kies. Die genaue Verteilung ist der DWA-A 178 zu entnehmen.

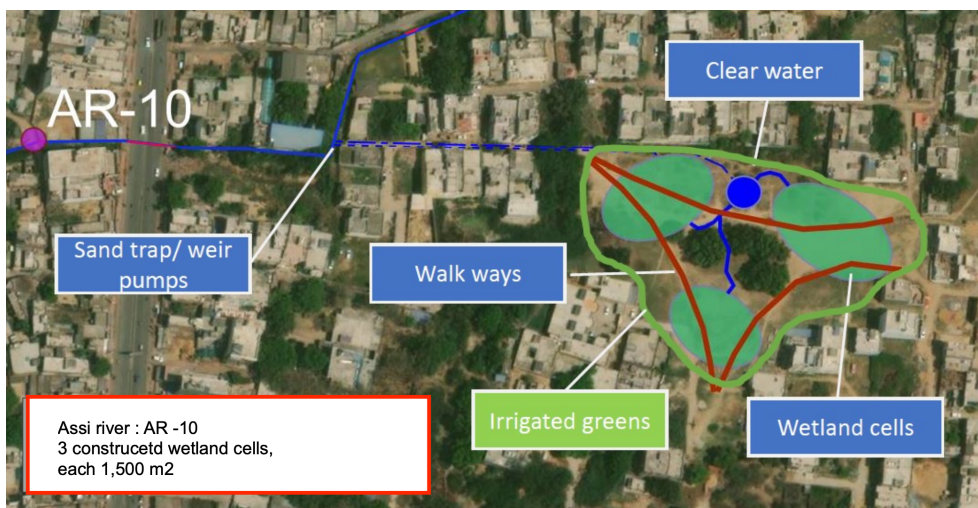


Abbildung 48 Lageplan mit Potentialflächen für RBF (Karten-Quelle googlemaps)

Das Untersuchungsgebiet hat eine Gesamtfläche von ca. 60 ha. Aus der Größe des Einzugsgebietes lässt sich die benötigte Gesamtfilterfläche berechnen. Bei dem Berechnungsansatz von 0,5 % der Fläche des Einzugsgebietes ist eine Filterfläche von

mindestens 3.000 m² erforderlich. Zur Verhinderung von Kolmation sollen die Filter wechselseitig betrieben werden, weshalb insgesamt drei Filter vorgesehen sind. Um einen Planungspuffer einzubauen, wird jede Filterfläche eine Größe von 1.500 m² haben. Die Anordnung im Potentialbereich

5.8 Ansatz zur Umsetzung der Studie

Im folgenden Abschnitt werden die Schritte skizziert, die notwendig wären, um die oben beschriebene Projektskizze optimal mit wissenschaftlicher Begleitung umzusetzen. Dabei soll auf Untersuchungen und die verschiedenen Arbeitspakete eingegangen werden.

Untersuchungen

Zunächst sind die Untereinzugsgebiete des Flusslaufes zu kartieren. Anschließend erfolgt die sorgfältige Erfassung von hydrologischen Daten zur Quantifizierung des Wasservolumens und der Fließgeschwindigkeiten.

Gleichzeitig ist die Kartierung der Abwasser- und Entwässerungsnetze unerlässlich. Der anschließende Schritt umfasst die Modellierung unter Verwendung fortschrittlicher Methoden, um das Verhalten unter verschiedenen Bedingungen zu simulieren und vorherzusagen. Die Bewertung des Hochwasserrisikos ist ein wesentlicher Bestandteil der Vorsorge und Minderung potenzieller Bedrohungen und bezieht Faktoren wie Topografie und Landnutzung mit ein.

Bezüglich der Wirkung wird ein Monitoringkonzept zur systematischen Beurteilung der Gewässerqualität, der Messung der chemischen Zusammensetzung und der Schadstoffbelastung erarbeitet. Die Erforschung erstreckt sich weiter auf den Bereich der Flussökologie und umfasst die Untersuchung aquatischer Ökosysteme, ökologischer Strukturen von Flussufern und des komplexen Gleichgewichts der Wasserchemie. Darüber hinaus ist eine Kartierung der Arten, die in diesen Ökosystemen leben, durchzuführen und so unser Verständnis ihrer Vernetzung zu verbessern.

Die Untersuchungen münden schließlich in der Abschätzung der Ökosystemleistungen. Kartierung

Der erste Schritt in diesem Projekt besteht darin, detailliertes Kartenmaterial und GIS-Daten zum Flussverlauf (Bathymetrie), digitale Höhenkarten (DEM), Einzugsgebiete und Karten der Abwasser- und Entwässerungsnetze der Stadt oder des Betreibers zu integrieren. Diese Informationen werden für die Identifizierung potenzieller NBS-Gebiete und die Abschätzung der Abwassermengen, die in den verfügbaren Gebieten behandelt werden können, von entscheidender Bedeutung sein. Die Daten helfen auch bei der Bestimmung des besten NBS-Typs für den jeweiligen Standort.

Nach Erhalt der erforderlichen Daten sind potenzielle Bereiche für NBS zu identifizieren. Dabei wird nach öffentlichen Flächen und freien Flächen gesucht, die für NBS genutzt werden können. Die identifizierten Gebiete müssen für die Abwasserbehandlung geeignet sein und bestimmte Kriterien erfüllen, wie etwa ausreichend Platz und Zugang zu Wasserquellen.

Probenahme

Im nächsten Schritt werden die Abwassermenge, der Verschmutzungsgrad und die Art untersucht. Dazu gehört die Erfassung der Bevölkerungsdichte, die Schätzung des spezifischen Einwohnerwertes und die Nutzung verfügbarer Regendaten von meteorologischen Diensten, internationalen Satellitendaten oder Literatur. Optimalerweise kann ein grobes Modell zu Wasserführung, Überschwemmungsrisiken und Schadstoffkonzentrationen erstellt werden.

Maßnahmen identifizieren

Das ideale Ergebnis wäre eine GIS-Karte mit Ideen und Alternativen für einen Wasserlauf, aufgeteilt in die drei Abschnitte Ober-, Mittel- und Unterlauf, um einen Überblick über alle Maßnahmen zu erhalten. Im Oberlauf gibt es relativ wenig Abfluss, der durch Sedimentation und Filterzonen behandelt werden kann, wo möglich ist das Gewässer freizulassen. Der Mittellauf weist verschiedene Zuflüsse auf. Das Hauptziel wäre die Abschaltung des Abwasserzuflusses und der Bau eines Sammlers parallel zum Vorlauf bis zur Pumpstation. Der Hochwasserrückhalt könnte durch die Einrichtung multifunktionaler Grünflächen, Feuchtgebiete und Retentionsbodenfilter erreicht werden. Für den Unterlauf sollten die Ufergestaltung, das Gewässerbett, der Hochwasserabfluss und der Pumpstationszulauf berücksichtigt werden.

Arbeitspakete

Zusammenfassend können die folgenden Arbeitspakete festgehalten werden. Im ersten Arbeitspaket, dem Integrierten Entwicklungsansatz, werden bestehende Entwicklungskonzepte analysiert. Nach der Bestandsaufnahme können bereits vorhandene Konzepte oder eigene Ideen überarbeitet und erweitert werden. Dabei sollten lokale Planer einbezogen und mit anderen Bereichen koordiniert werden, um ein ganzheitliches Konzept zu erstellen, das die verschiedenen Aspekte der Stadtentwicklung und Abwasserbehandlung gleichermaßen berücksichtigt.

Im zweiten Arbeitspaket, der Entwicklung von Behandlungslösungen, werden potenzielle Gebiete identifiziert, um abzuschätzen, welche Mengen an Abwasser mit den vorhandenen Flächen behandelt werden können. Diese Informationen sind entscheidend für die Machbarkeit des Projekts und die Identifizierung der besten Bereiche für die Umsetzung von Naturbasierten Lösungen (NBS). Das Projektteam wird entscheiden

müssen, welche Art von NBS oder Kombinationen mit technischen Lösungen für den Standort am besten geeignet sind. Dies erfordert eine Abwägung der Vor- und Nachteile verschiedener NBS-Optionen, wie z.B. intensiviert belüftete Behandlungssümpfe gegenüber der Rückhaltung von Regenwasser und Oberflächenfluss-Sümpfen. Die endgültige Entscheidung basiert auf den spezifischen Anforderungen des Standorts und den verfügbaren Ressourcen.

Im dritten Arbeitspaket, der Integration der städtischen Grünplanung, soll die Flussentwicklung Freizeitfunktionen integrieren, sobald die Oberflächengewässer eine akzeptable Qualität erreichen und lokale Grünflächen unterstützt werden. Schließlich wird das Projektteam mit den verantwortlichen Behörden und vorab involvierten Organisationen in Kontakt treten, um den Erfolg des Projekts sicherzustellen. Dies umfasst die Beschaffung erforderlicher Genehmigungen, die Sicherung von Finanzmitteln und die Zusammenarbeit mit lokalen Gemeinschaften, um das Bewusstsein und die Beteiligung zu fördern.

Im vierten Arbeitspaket, der Implementierungsplanung, wird ein integriertes Management mit Stakeholder-Beteiligung aus den Bereichen Wasserwirtschaft, Stadtentwicklung, Tourismus, Naturschutz und interessierter Bevölkerung angestrebt. Die Verbesserung der Planungsgrundlage durch lokale Vermessungen und hydrologische Untersuchungen sowie die schrittweise Umsetzung von Maßnahmen im Rahmen des Gesamtprojekts stehen dabei im Fokus.

5.9 Fazit

Abschließend lässt sich festhalten, dass bepflanzte Bodenfilter (Constructed Wetlands, CW) mittel- und langfristig als sinnvolle Lösung für den Assi betrachtet werden können, da sie verschiedene Problematiken im Bereich der Abwasserbehandlung adressieren und vielfältige Funktionen übernehmen können. Um diese Lösung erfolgreich umzusetzen, ist es jedoch von entscheidender Bedeutung, das Konzept weiter auszuarbeiten und konkrete Daten einzuholen, um eine detaillierte Planung zu ermöglichen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die enge Zusammenarbeit mit lokalen Akteur*innen und Vertreter*innen aus verschiedenen Bereichen wie Wirtschaft, Politik und Forschung. Nur durch diese interdisziplinäre Zusammenarbeit kann eine ganzheitliche Herangehensweise gewährleistet werden, die die vielfältigen Herausforderungen im Bereich der Abwasserbehandlung erfolgreich angeht.

Darüber hinaus ist eine kontinuierliche Kommunikation und regelmäßiger Austausch zwischen allen Beteiligten von entscheidender Bedeutung. Dies trägt nicht nur zur

Transparenz und Effizienz des Projekts bei, sondern ermöglicht auch eine frühzeitige Identifizierung von potenziellen Herausforderungen und die Entwicklung entsprechender Lösungsansätze.

Schließlich sollte der Fokus darauf liegen, sicherzustellen, dass das Projekt langfristig begleitet wird und die langfristigen Ziele konsequent umgesetzt werden. Dies erfordert eine kontinuierliche Überwachung und Anpassung der Strategien sowie die Einbindung aller relevanten Interessengruppen, um eine nachhaltige Entwicklung im Bereich der Abwasserbehandlung zu gewährleisten.

6 Mittelverwendung

Für die Arbeit im Projekt wurde eine wissenschaftliche Mitarbeiterin eingestellt.

Die Reisemittel wurden für die oben beschriebenen Reisen nach Indien und für Projekttreffen in Dresden verwendet.

Laboraüstung und Messegräte wurden dazu verwendet, den bepflanzten Bodenfilter auf dem Campus in Varanasi zu betreiben.

7 Quellen:

DWA Arbeitsblatt A 178 2019: Retentionsbodenfilteranlagen, Hennef

DWA Arbeitsblatt A 262 2017: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers, Hennef

NGT 2021: Action Plan for the Rejuvenation and Restoration of River Varuna and Assi. Principal Bench, New Delhi, in order dated 17.06.2021 O.A. no. 128/2021 in the matter of Saurabh Tiwari vs. Union of India & Ors

Manu Bhatnagar 2017: INTACH pilot project reduces Assi River pollution in Varanassi by 70% in two months, at least costs, without any structures. SANDRP report do divisional commissioner, Varanassi (<http://SANDRP.in/>)

STRABAG INDIA PVT LTD 2018: FINAL FEASIBILITY REPORT ON DETAILED HYDROGRAPHIC SURVEY ASSI RIVER FROM GANGA CONFLUENCE AT ASSI GHAT (0.0 KM CH) TO NEWADA (5.50 KM CH) NATIONAL WATERWAY NO- 12. VOLUME – I

Jens Nowak, Heribert Rustige, Lena Hartfiel 2024: Assi river development integrated concept for revitalising urban spaces and water bodies in Varanasi. ppt-Presentation. Indian Institute of Technology Roorkee & National Institute of Hydrology, Roorkee March 03-06, 2024