

Wasserwiederverwendung und integriertes Stoffstrommanagement in Tunesien und Marokko

Die Ergebnisse aus mehreren Forschungsvorhaben zeigen, dass durch eine weitergehende Aufbereitung und Behandlung von (Industrie-)Abwässern und Klärschlämmen ein Beitrag zu geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreisläufen geleistet werden kann. Der Wasserbedarf übersteigt in Tunesien und Marokko die sich erneuernden Vorkommen. Düngemittel werden zugekauft und in der Landwirtschaft eingesetzt. In den dargestellten Projekten wird gezeigt, wie beide Ressourcen auch aus der Abwasseraufbereitung gewonnen und eingesetzt werden können.

Manuel Krauss, Henry Risse et al.

Die Länder der Maghreb-Region sind geprägt von einem Küstenstreifen mit landwirtschaftlich ertragreichen Böden, einer Steppenregion im Übergangsbereich und Ausläufern der Sahara im Süden. Die Niederschlagshöhen (NSH) sind regional sehr unterschiedlich. In den küstennahen Gebieten herrscht ein Mittelmeerklima mit jährlichen NSH zwischen 466 mm (Tunis) und 556 mm (Rabat), in den landesinneren Gebieten ein Wüstenklima mit NSH von 110 mm (Ouarzazate) bis 195 mm (Gafsa) [1].

Insbesondere durch eine wasserintensive Landwirtschaft wird das natürliche Wasserdargebot übernutzt. An diesem Einsatzzweck bemessen sich auch die Erfordernisse einer Wasserwiederverwendung. In beiden Ländern wurden in den letzten drei Jahrzehnten erhebliche Fortschritte in der Abwasserbehandlung gemacht. Schwerpunkt war in Tunesien im ausgehenden 20. Jahrhundert der Gesundheitsschutz, aber angesichts des starken Devisenumsatzes im Tourismus auch die Vermeidung von sichtbaren Abwasserflüssen und Gerüchen.

In Tunesien und Marokko stellen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von >100.000 Einwohnerwerten (EW) auf die Anzahl bezogen nur etwa 10 % dar. Diese reinigen in Tunesien 60 % und in Regionen in Marokko sogar 89 % der zu behandelnden Schmutzfracht. Generell besteht in Tunesien die Tendenz, vorhandene klei-

nere Kläranlagen zu größeren zusammenzulegen. In Marokko konzentrierten sich die Aktivitäten lange auf größere Städte bis im Jahr 2007 der „Nationale Abwasserplan“ (PNA – Plan National d’Assainissement) eine Strategie hervorbrachte, vollständige Abwasserableitung und -behandlung, auch im ländlichen Raum, umzusetzen [2].

Dass insbesondere in den Ballungsräumen viele Kläranlagen eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Größe für eine Klärschlammfäulung besitzen, begünstigt die in Tunesien vor einigen Jahren getroffene Entscheidung, sich für den technologischen Wechsel der anaeroben Klärschlammbehandlung zu öffnen. Bisher verfügen nur wenige Kläranlagen über eine Schlammfäulung [3].

Die Behandlung von Klärschlamm erfolgte in Tunesien bislang weitestgehend aerob: unter Zufuhr von Sauerstoff und damit dem Einsatz eines überdurchschnittlich hohen Energieaufwandes wird Klärschlamm – entgegen internationalem Standard auch bei Großkläranlagen bis 500.000 EW – im Belebungsbecken stabilisiert. Neben einem erhöhten Platzbedarf hat diese Technologie den Nachteil, dass die erreichten Stabilisierungsergebnisse aufgrund zu gering eingestellter Belüftungszeiten bzw. zu niedrigen Sauerstoffkonzentrationen in den Belebungsbecken zur spontanen Fäulung in den Eindickern führen. Das hat schlechte Entwässerungsergebnisse zur Folge und erschwert die anschließende geordnete Verwertung oder Entsorgung des Klärschlammes [4].

Für viele Städte Tunesiens existieren langfristige Klärschlamm-entsorgungskonzepte.

Drei große Achsen kennzeichnen den geforderten Umgang mit dem Klärschlamm:

1. Nutzung in Landwirtschaft und Landbau („der grüne Pfad“),
2. thermische Verwertung („der rote Pfad“) und
3. Deponierung („der schwarze Pfad“).

Die verantwortlichen Akteure in Tunesien sind heute hinreichend sensibilisiert, zunächst die Belastung des Klärschlammes zu bewerten, um über das Einschlagen des „grünen Pfades“ zu entscheiden. Schwermetalle, die zumeist aus der Einleitung von Abwässern Metall verarbeitender Firmen wie Batteriefabriken und von Gerbereien resultieren, sind die wichtigsten begrenz-

/ Kompakt /

- Klimawandel und intensive Landwirtschaft führen zu einer Übernutzung der vorhandenen Wasserressourcen in Marokko und Tunesien.
- Wasserwiederverwendung nach weitergehender Abwasserbehandlung und der Einsatz von organischen Reststoffen als Dünger eröffnet Chancen zur Minderung der Ressourcenknappheit in der Landwirtschaft.
- Zur flächendeckenden Umsetzung ist ein intensiver Stakeholderprozess erforderlich, der die lokalen Bedenken miteinbezieht.



Bild 1: Blick auf das gerade fertig gestellte NBS-System (Vordergrund) und des Containers der Entsalzungsanlage, eingebettet in das Gelände der GDA Sidi Amor, Tunesien

den Faktoren für diesen Pfad. Im roten Pfad nutzen Zementwerke die Klärschlämme als thermische Energiequelle in den Brennprozessen bei der Zementherstellung. Ein Problem hierbei ist, dass die Werke größtenteils nicht über die dazu notwendigen Abluftfilteranlagen verfügen.

In Marokko werden vielfach die Teichkläranlagen nicht vom Schlamm befreit. So wird das Entsorgungsproblem verdeckt, zumal die Reinigungsleistung zu wenig kontrolliert und überwacht wird. Die Klärschlämme der Belebtschlammanlagen werden üblicherweise auf dem Kläranlagengelände bzw. oft im Umfeld der Kläranlagen zwischengelagert sowie auf gemischten Deponien abgelagert. Die

Flächen der Kläranlagen sind jedoch begrenzt. Es war bekannt, dass Landwirte vielfach den in den Trockenbeeten weitgehend getrockneten Schlamm unkontrolliert auf ihren Äckern als kostengünstige Entsorgung ausbrachten. Das Gesundheitsministerium hat zur Vermeidung des Hygienrisikos die direkte Ausbringung verboten.

In Marokko werden Klärschlämme derzeit nicht stofflich verwertet [5]. Das Umweltmonitoring ist nicht ausreichend ausgebaut, teilweise erfüllen die Messwerte nicht die geforderten Qualitätsstandards; zu hohe Schwermetallgehalte und hygienische Parameter zeichnen sich dafür verantwortlich. Aus der Erfahrung des Forschungsinstituts für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) erschweren



Wir sind jetzt eins.

Weber plus UNGER sind jetzt **WEBER-Ingenieure**.

Mit dem vereinten Ingenieur-Know-how unserer über 350 Mitarbeiter gehen wir in eine gemeinsame Zukunft.

Dank aller Ingenieurleistungen aus einer Hand, sind wir stark genug für große Herausforderungen und persönlich genug für kleinere, regionale Projekte.

Erfahren Sie mehr unter www.weber-ing.de

Besuchen Sie uns auf der

IFAT Weltleitmesse für Umwelttechnologien
Munich 30. Mai - 3. Juni 2022 | Messe München
Halle B2 an Stand 127/226

WEBER
Ingenieure

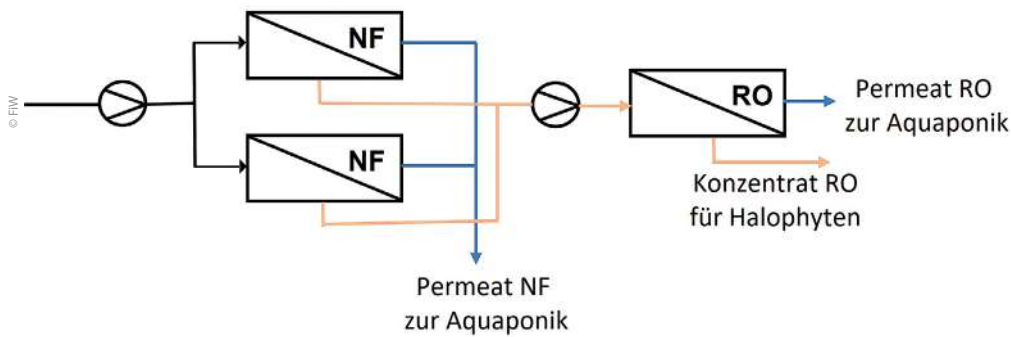


Bild 2: Prinzipschema des gewählten Konzeptes zur Entsalzung im Projekt WaterReTune

in Bezug auf die landwirtschaftliche Verwertung vor allem hygienische Bedenken die Akzeptanz. Vom Großteil des Klärschlammaufkommens liegen jedoch keine Mengenangaben und Analysenwerte vor. Die landesweite Übertragung auf andere Kläranlagen ist durch sehr ungleiche Landwirtschafts- und Industriestruktur nicht repräsentativ und berücksichtigt auch nicht den Einfluss der installierten Abwasserbehandlungsstufen auf die Ablaufqualität. Heute werden Klärschlämme vor allem auf Deponien entsorgt.

WaterReTUNE - Beispiel für Innovation und Umsetzung

Im vom BMBF geförderten Vorhaben WaterReTUNE werden derzeit (Stand März 2022) innovative Technologien zur Nachbehandlung und Verwertung von biologisch gereinigtem Abwasser aus Kläranlagen in Tunesien demonstriert. Ziel ist, eine stabile wirtschaftliche Prozesskette zur diversifizierten Verwertung des bisher in Tunesien wenig genutzten Potentials von gereinigtem Abwasser zu erschließen. Dazu wurden sog. „Nature Based Solutions“ (NBS), ein innovatives Membranbehandlungssystem zur Produktion von hochwertigem teilentsalztem Reuse-Wasser für Bewässerungszwecke, innovative Sole-Behandlungen zur Nährstoffrückgewinnung und zum Halophytenanbau sowie eine kreislaufgeführte angepasste Aquaponik-Produktion kombiniert.

Als Ausgangspunkt und Ideengeber diente eine Pilotanlage aus dem BMBF-Projekt „Abwassereinigungsverfahren im regionalen Strukturwandel“ - AWAREGIO auf der KA Moers Gerdt. Zu Projektbeginn diente diese zudem als Basis für einen Know-how-Transfer und Know-how-Austausch in Deutschland.

Aus dem Projekt AWAREGIO werden Erfahrungen zur Leistungsfähigkeit und zum Betrieb von NBS-Systemen übertragen. Es wurden über mehrere Monate auch Erkenntnisse aus der Speisung einer Niederdruck-Umkehrosmose (RO) mit in NBS-Systemen weitergehend vorbehandelten Abwässern gewonnen. Umfangreiche Erfahrungen aus der Aquaponik, die bei hohen Temperaturen in den Sommern 2018 und 2019 betrieben wurde, bringt der Projektpartner Terra Urbana ein.

Auf dem Gelände der tunesischen Nichtregierungsorganisation „Groupement de Développement Agricole“ – GDA Sidi Amor werden nun die verschiedenen Komponenten in das Gesamtsystem eingebunden und die unterschiedlichen Wasserqualitäten für die Kultivierung ökonomisch aussichtsreicher Nutzpflanzen erprobt. **Bild 1** zeigt das NBS-System – ein vertikal durchflossener Boden-

filter und den Container der Entsalzungsanlage auf dem Gelände der GDA Sidi Amor kurz nach der Fertigstellung bzw. Bepflanzung. Letztere erfolgte mit salztoleranten Pflanzen, da das vorgereinigte Abwasser erhöhte Salzgehalte aufweist.

Mittels modifizierter naturnaher Lösung bestehend aus einem kleinen Moving bed biofilm reactor (MBBR) und einem vertikal durchflossenen Bodenfilter werden die Kläranlagenabläufe weitergehend gereinigt. Dies betrifft insbesondere die Minimierung der Konzentrationen an organischen Inhaltsstoffen, die Nitrifikation und die Hygieneparameter. Die weitgehende Elimination der organischen Stoffe ist dabei wesentliche Voraussetzung für den stabilen Betrieb der folgenden NF bzw. RO-Membranen.

Für eine uneingeschränkte Wasserwiederverwendung ist eine (Teil-)Entsalzung der behandelten Kläranlagenabläufe notwendig, um bei dauerhafter Applikation auf Ackerböden deren Versalzung zu vermeiden. Dafür wurde in enger Abstimmung mit den tunesischen Partnern ein Konzept gewählt, dass Nanofiltrationsmembranen (NF) in einer ersten Stufe zur Teilentsalzung nutzt und in einer zweiten Stufe den Abproduktstrom der NF – das Konzentrat der ersten Entsalzungsstufe in eine zweite Entsalzungsstufe (RO) einspeist (**Bild 2**).

Erste Ergebnisse bestätigen die These, dass die NF-Membran in der Lage ist, bei einem geringen Druck von 3 bis 4 bar und damit geringem Energiebedarf eine Wasserqualität zu liefern, die zum einen hygienisch unbedenklich ist, die persistenten organischen Stoffe des Ablaufs aus der Vorbehandlung weitgehend zurückhält und schließlich einen Salzgehalt aufweist, der etwa Trinkwasserqualität entspricht. Das NF-Permeat ist somit multifunktional nutzbar. Im Projekt wird das teilentsalzte Wasser zum Teil in die Aquaponik eingespeist, der Rest steht für die gärtnerische Bewässerung zur Verfügung.

Weiterhin werden Versuche zur Kultivierung von salztoleranten Pflanzen durchgeführt, die mit dem Konzentrat der NF bzw. der RO beschickt werden. Damit wird ein Ansatz verfolgt, der eine Verwertung und Nutzbarmachung der Konzentrate ermöglichen soll.

Die Erprobung der Wiederverwendung der teilentsalzten Wasser in einer Aquaponik dient dazu, unter den subtropischen Bedingungen eine kombinierte Fisch-Pflanzenzucht mit minimalem Wasserbedarf und möglichst optimaler Nährstoffverwertung zu erproben.

Hier wurde in Zusammenarbeit mit den tunesischen Partnern eine Aquaponikanlage aufgebaut, in der verschiedene Kulturen - Gemüse, Kräuter, Blumen unter den Klimabedingungen Tunesiens in aquaponischer Kultivierung angebaut werden. Eine erfolgreiche

Implementierung der Kombination aus NBS und Niederdruck-RO, verbunden mit den neuen angepassten Ansätzen zur Pflanzenproduktion und Konzentratverwertung hat das Potential, beispielgebend für viele Regionen im Maghreb zu sein.

I-WALAMAR – Beispiele für einen integrierten Ansatz zur Verwertung der Produkte aus Olivenölproduktion und kommunaler Abwasserbehandlung

Das vom BMBF geförderte Verbundvorhaben „Innovatives Wasser- und Landmanagement in Marokko“ – I-WALAMAR beschäftigt sich mit der Kreislaufführung der Reststoffe der Olivenölproduktion sowie der alternativen Ressourcennutzung in der Landwirtschaft (**Bild 3**). Reststoffe, die heute zu Umweltbelastungen führen, sollen zukünftig als Wertstoffe zur Resilienz und Fruchtbarkeit von Böden beitragen.

In der Fès-Meknès-Region (FMR) im Nordosten Marokkos, am Übergang zur Sahara hat eine Intensivierung und Kommerzialisierung, neben ökonomischen und sozialen Folgen, auch bedeutende negative Auswirkungen auf die Boden- und Wasserressourcen. Neben der Übernutzung natürlicher Wasserressourcen treten jährlich in der Erntezeit von November bis Februar nennenswerte Umweltbelastungen in der Saïss-Hochebene, dem landwirtschaftlichen Hauptanbauggebiet des I-WALAMAR-Untersuchungsgebietes, auf, die auf die Abwässer der Olivenölproduktion zurückzuführen sind. Bodendegradation und Klimawandel sind weitere Stress induzierende Faktoren [6].

Ein Fokus liegt in der Untersuchung von geeigneten, an die Gegebenheiten vor Ort angepassten Umweltanalytik-Schemata, um die Voraussetzung für die landwirtschaftliche Verwertung der Reststoffströme zu schaffen und die gesellschaftlichen Transformationsprozesse zu analysieren. Darüber hinaus werden, zusammen mit landwirtschaftlichen Forschungspartnern und kleinen Industriebetrieben, Techniken untersucht und demonstriert, um Klärschlamm in Kombination mit landwirtschaftlichen Reststoffen so aufzubereiten und in den Boden einzuarbeiten, dass einerseits die

hygienische Sicherheit garantiert und andererseits die Bodenresilienz und Fruchtbarkeit erhöht werden.

Mit einer IST-Zustandsaufnahme mit Vor-Ort-Begehungen, Messungen und strukturierten Vor-Ort-Interviews mit Stakeholdern wurden Grundlagen geschaffen und Rahmenbedingungen erfasst, die in die Bewertung der technischen Umsetzbarkeit und die Akzeptanz der Bevölkerung einfließen. Insbesondere werden die lokalen Wandelprozesse, wie Strukturwandel, Arbeitsmarktveränderungen und Migrationen berücksichtigt. Ein Konzept für ein integriertes Wasserressourcenmanagement und eine begleitende Analyse landwirtschaftlicher Transformationsprozesse sind in Bearbeitung.

Durch eine Stoffstrombilanz auf Basis von Literaturdaten für die Kläranlage in Meknès und die Olivenölproduktion in der Region konnte gezeigt werden, dass die quantitativ größten Potentiale für eine Wasserwiederverwendung in der weitergehenden Aufbereitung des anfallenden Abwassers aus dem Ablauf der kommunalen Kläranlage liegen. Ein Recycling der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff hingegen erscheint aus den Reststoffströmen der Olivenölproduktion heraus am zielführendsten. Die Reststoffströme aus der Produktion enthalten auch Polyphenole, welche in der Industrie als Wertstoffe gehandelt werden, in der Umwelt in vielen Fällen dagegen zu Problemen führen. Dem skeptisch begegneten Stoffstrom Klärschlamm fällt in dieser Betrachtung das geringste Potential für eine Wiederverwendung von Wertstoffen zu. Insbesondere für die Reststoffe der Olivenölproduktion werden im Vorhaben verschiedene Einsatzmöglichkeiten erarbeitet. Die Erprobung insbesondere der Produkte in landwirtschaftlichen Testversuchen befindet sich derzeit (März 2022) noch in der Umsetzungsphase.

Aufbereitung von Polyphenolen aus der Olivenölproduktion – Vom Schadstoff zum Wertstoff

In den Reststoffströmen der Olivenölproduktion sind Polyphenole enthalten, die teilweise umwelttoxisch wirken. Abhängig von dem



Bild 3: Olivenhain bei Meknès

verwendeten Prozess in der Produktion (traditionelles Pressverfahren, 2-Phasen-Dekanter, 3-Phasen-Dekanter) fallen verschieden zusammengesetzte Mengen flüssiger (Fruchtwasser) und fester (Fruchtbrei) Reststoffströme an. Durch eine Wiedernutzung der Wertstoffe (Nährstoffe in der Landwirtschaft und Polyphenole in der Chemieindustrie) kann die Einleitung in die Umwelt verhindert und eine wirtschaftliche Weiternutzung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft gewährleistet werden.

Den vor allem in den Waschwasserfraktionen vorkommenden Polyphenolen (oder auch Biophenolen) kommt hierbei ein möglicher Nutzen als Wertstoff zu. Das Vorhandensein bestimmter Polyphenole in Olivenöl in ausreichender Menge erlaubt dem Hersteller das Produkt mit positiven Auswirkungen auf die Gesundheit zu bewerben. Sie besitzen antimikrobielle und antioxidative Eigenschaften und sind daher potentielle natürliche Zusatzstoffe für u. a. die Kosmetik- oder Ernährungsindustrie. Daher lohnt es sich, diese Verbindungen als weit mehr als reine Schadstoffe in Abwasserströmen zu betrachten. Die Gehalte an wertvollen Polyphenolfractionen werden im Vorhaben weitergehend quantitativ und qualitativ erfasst. Hauptsächlich werden die beiden Vertreter Tyrosol und Hydroxytyrosol betrachtet, die auch in den größten Anteilen in den bisher untersuchten Proben vorhanden sind (**Bild 4**).

In einem innovativen Trennverfahren der Firma GEA konnten die Polyphenole aus dem Fruchtbrei (2-Phasen-Dekanter) heraus in

ein Prozesswasser angereichert werden. Aus diesem Wasser lassen sich die abgetrennten Substanzen isolieren und weiter reinigen. Wie effizient die Abtrennung der Verbindungen, vor allem bezüglich der Selektivität einzelner Polyphenole, durchgeführt werden kann, wird noch untersucht. In dem Prozess entsteht zudem eine phenol-reduzierte feste Phase, deren Anwendbarkeit in der Landwirtschaft als Bodenhilfsstoff noch getestet wird.

Die Phenol-angereicherte flüssige Phase wird verwendet, um die darin enthaltenen Polyphenole über dafür angepasste polymere Materialien und Materialkomposite mit natürlichen Rohstoffen (wie bspw. ebenfalls in Marokko vorkommendem Ghassoul) im Labormaßstab abzutrennen. Im Anschluss erfolgt eine Rückgewinnung dieser Wertstoffe von den Materialien. Gute adsorptive Eigenschaften zur Aufnahme von Phenolen aus Olivenwaschwassern konnten bereits gezeigt werden.

Fazit

Wie in den beiden Forschungsprojekten gezeigt werden konnte, besteht ein Potenzial hin zur Wasserwiederverwendung und Kreislaufführung der Reststoffströme aus Siedlungswasserwirtschaft und Olivenölproduktion. In der konkreten Umsetzung bestehen weiterhin Herausforderungen – kultureller, rechtlicher und technischer Natur.

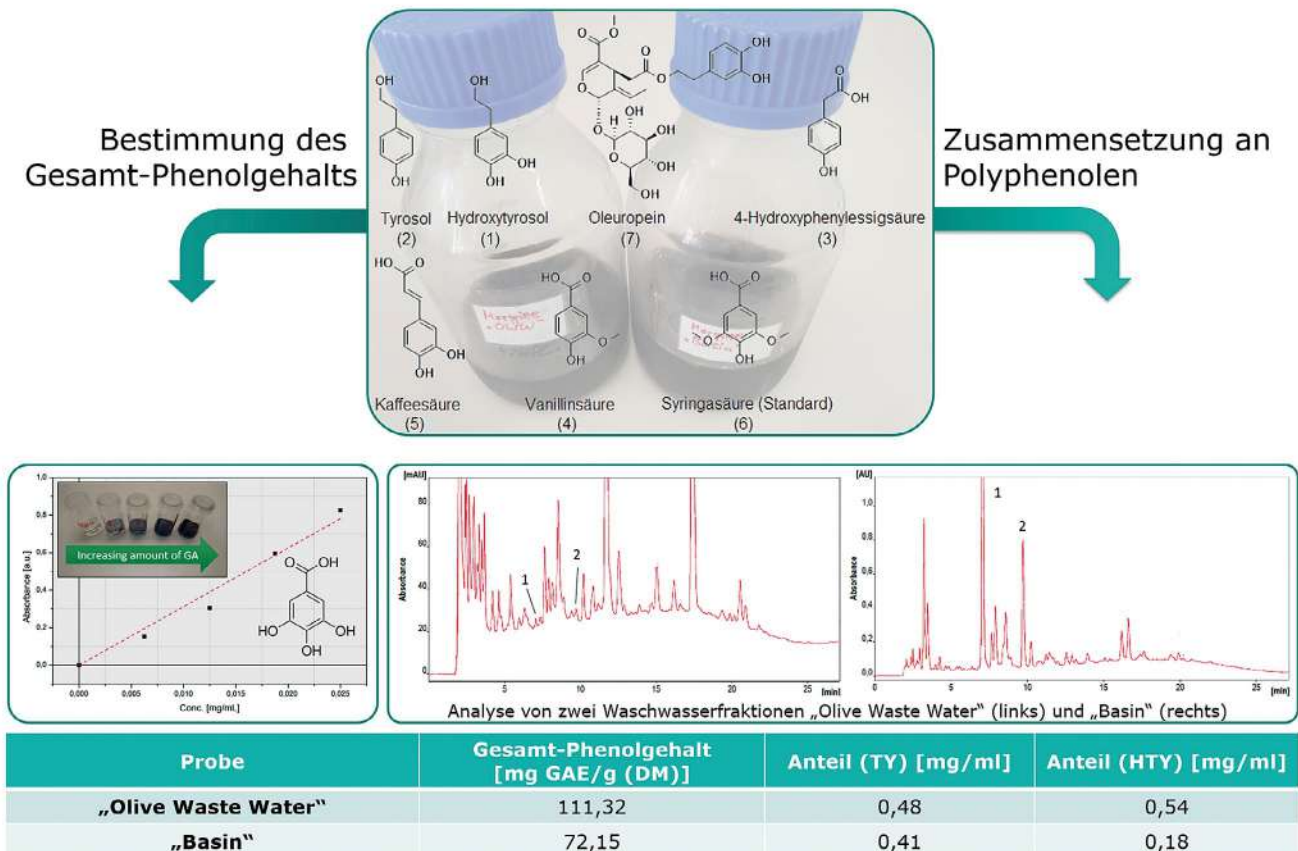


Bild 4: Verschiedene Polyphenole und deren Vorkommen (hier wurden quantitativ Tyrosol und Hydroxytyrosol betrachtet) in wässrigen Rückständen der Olivenölproduktion zweier Waschwasserfraktionen des marokkanischen Projektpartners

Die technische Realisierbarkeit, auch hinsichtlich der Einhaltung strenger gesetzlicher Vorgaben und hygienischer Parameter, sowie die wirtschaftliche Tragfähigkeit von geeigneten Aufbereitungsverfahren sind zunehmend gegeben. In WaterReTUNE konnte gezeigt werden, dass durch eine situationsangepasste weitergehende Abwasserbehandlung das geklärte Abwasser zur Wiederverwendung in Tunesien aufbereitet werden kann. Eine lokale Anpassung der Wiederverwendung im direkten Dialog mit lokalen Stakeholdern ist essentiell, um die Akzeptanz zu gewährleisten. Einige der entwickelten Verfahren, wie die Verwendung eines Bodenfilters, nehmen explizit kulturelle Randbedingungen mit auf und steigern so die Akzeptanz in der Bevölkerung für die Verwendung von gereinigtem Abwasser in der Landwirtschaft.

In den betrachteten Regionen gibt es kein umfassendes Monitoring, sodass eine Einschätzung zur Verwendung der Klärschlämme verschiedener Kläranlagen nicht flächendeckend gegeben ist. Dies gilt ebenso für eine Einschätzung der Auswirkungen der Olivenölproduktion in der Fläche. Die vorhandenen Daten stehen den betroffenen Landwirten und Behörden häufig nicht zur Verfügung. In I-WALAMAR wird der Fokus daher auf ein integriertes Stoffstrommanagement und damit auf die erfolgreiche Wieder- bzw. Weiterverwendung von (Teilen) der Reststoffströme gelegt. Durch eine In-Wert-Setzung der Stoffe, beispielsweise durch die Anreicherung von Polyphenolen für die Chemieindustrie, oder auch die Verwendung von Reststoffen in der Landwirtschaft, werden Möglichkeiten aufgezeigt die Stoffströme in die Kreislaufwirtschaft zu überführen.

Danksagung:

Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte WaterReTUNE (FKZ 01DH1902A), IWALAMAR (FKZ 01LZ1807A) und AWAREGIO (FKZ 02WPS1399A) werden bzw. wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Die Veröffentlichung basiert auf den Ergebnissen aus den Projekten und beruht auf der Zusammenarbeit mit den Partnern in den genannten Verbundprojekten. Wir danken allen Projektpartnern für die hervorragende Zusammenarbeit.

In WaterReTUNE sind die Projektpartner die Firma Terra Urbana Umlandentwicklungsgesellschaft mbH, das „Centre de Recherche et des technologies des eaux“ – CERTE (Wasserforschungsinstitut), das „Institut National Agronomique de Tunisie“ – INAT (Agrarforschungsinstitut) sowie die Nichtregierungsorganisation „Groupeement de Développement Agricole“ – GDA Sidi Amor und die ONAS als Betreiber der Kläranlagen in Tunesien als assoziierte Partner. Das Projekt wird intensiv durch die beiden tunesischen Forschungseinrichtungen CERTE und INAT begleitet; die Anlage wird durch diese Partner sowie GDA Sidi Amor betrieben.

Projektpartner in I-WALAMAR sind das Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim (UHOH), das Institut für Angewandte Polymerchemie (IAP) der Fachhochschule Aachen, das Bonn International Centre for Conflict Studies (BICC), SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG und innoAgri GmbH sowie auf marokkanischer Seite die „Université Moulay Ismail“ (universitäre Institute aus verschiedenen Fachbereichen) – UMI, die „École nationale d'agriculture“ (Nationale Landwirtschaftsschule in Meknès) –

ENA, das Institut „Agronomique et Vétérinaire Hassan II“ (Wasserforschungsinstitut) – IAV. Die „Agence du Bassin Hydraulique de Sebou“ (Wasserbehörde in Fès), „Régie Autonome de Distribution Eau et Electricité Meknès“ (Kläranlagenbetreiber in Meknès) – RADEM und OLEAFOOD (Olivenölproduzent).

Literatur

- [1] Wetterkontor, 2020. Niederschlagsdaten Nordafrika im Zeitraum 1961 bis 1990, https://www.wetterkontor.de/de/klima/klima_noerdliches-afrika.html. Letzter Abruf: 27.01.2020
- [2] FiW e. V., 2012. Elaboration de la stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration urbaine et industrielles. Auftraggeber: Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement du Royaume Maroc (im Unterauftrag von Phénixa Maroc)
- [3] FiW e. V., 2016. Aus- und Fortbildung von Personal der ONAS in anaerober Klärschlammbehandlung und energetischer Faulgasverwertung. Auftraggeber: KfW Entwicklungsbank.
- [4] FiW e. V., 2015. Etude de plan directeur régional de gestion des boues des stations d'épuration de la Région du Sud / Nord. Auftraggeber: KfW Entwicklungsbank.
- [5] FiW e. V., 2011. Etude pour l'élaboration de la strategy nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux au Maroc, Auftraggeber: KfW Entwicklungsbank.
- [6] Agence du Bassin Hydraulique du Sebou, 2019. Présentation du bassin, <http://www.abhsebou.ma/presentation-du-bassin/> Letzter Abruf: 11.03.2022

Autoren

Dipl.-Ing. Manuel Krauss

Dr.-Ing. Henry Risse

Janine Möller, M.Sc.

Dr.-Ing. Wolfgang Kirchhof

Ahlem Jomaa, M.Sc.

Dr.sc. Dipl.-Ing. Frank-Andreas Weber

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft

an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

Kackertstraße 15-17, 52056 Aachen

risse@fiw.rwth-aachen.de

Dr. rer. nat. Dominik Schmitz

Prof. Dr. rer. nat. Markus Biel

FH Aachen

Institut für Angewandte Polymerchemie (IAP)

Heinrich-Mußmann-Straße 1

52428 Jülich



Klärschlamm



Bux, M.; Wasmuth, K.: Solare Trocknung, dezentrale Energiegewinnung und Phosphor-Recycling aus Klärschlamm. In: Wasser, Energie und Umwelt, Band II. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. www.springerprofessional.de/link/20122968

Franck, J.; Wittstock, R.: Innovative Verfahren zur Klärschlammbehandlung – Eine Auswahl. In: Wasser, Energie und Umwelt, Band II. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. www.springerprofessional.de/link/20122960