
ABSCHLUSSARBEIT

**„Die Abwasserbehandlung im ländlichen Raum in Deutschland und
die Übertragbarkeit naturnaher Methoden auf semiaride
Gebiete am Beispiel Syriens.“**

Dipl. – Ing. Dania Al-Jiroudi

Matrikel- Nr. 149178

13. März 2000

1. Einleitung.....	1
2. Problemstellung.....	2
3. Abwasserbehandlung im ländlichen Raum Deutschlands.....	3
3.1. Kommunales Abwasser	3
3.2. Richtlinien.....	4
3.2.1. Richtlinien der Bundesrepublik Deutschland.....	4
3.2.2. Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft.....	4
3.3. Verfahren	6
3.3.1. Technische Anlagen.....	7
3.3.1.1. Mechanische Behandlung in Mehrkammergruben.....	7
3.3.1.2. Biologische Nachbehandlung.....	8
3.3.1.3. Schlammbehandlung.....	9
3.3.1.4. Zusammenfassung.....	10
3.3.2. Ökologische Entsorgungskonzepte.....	10
3.3.3. Naturnahe Abwasserreinigung.....	13
3.3.4. Pflanzenkläranlage.....	18
3.3.4.1. Funktionsprinzip der Abwasserreinigung in einem Pflanzenbeet.....	20
3.3.4.2. Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenbeeten.....	22
3.3.4.3. Langzeitverhalten.....	23
3.3.4.4. Reinigung von Pflanzenkläranlage.....	24
3.3.4.5. Stand der behördlichen Genehmigungspraxis.....	28
3.3.4.6. Kostenbetrachtung.....	29
4. Beispiel Pflanzenkläranlage Golzen / Krawinkel.....	30
4.1. Einzugsgebiet und Ziel des Vorhabens.....	30
4.2. Wirkung einer dezentralen naturnahen Abwasserentsorgung unter dem Aspekt des nachhaltigen Schutzes des Naturschutzgebietes.....	32
4.3. Vorhaben.....	32
4.4. Örtliche Gegebenheiten.....	33
4.5. Rechtliche Grundlagen der Planung.....	35
4.6. Allgemeine Bau- und Funktionsbeschreibung.....	35
4.7. Besondere Aspekte des Kläranlagenbetriebes.....	39
4.8. Dimensionierung der Anlage.....	40
4.9. Reinigungsleistung der Anlage.....	41
4.10. Hydraulik.....	41

4.11. Betrieb der Anlage	42
4.12. Betriebs- und Pflegeanleitung	43
4.13. Wartung	43
5. Wassersituation in Entwicklungsländern	44
5.1. Definition	44
5.2. Wassermangel	44
5.3. Wasserverschmutzung	47
5.4. Krankheitent	47
5.5. Sozioökonomie	48
5.6. Intressenkonflikte	48
5.7. Now-how-Mangel	49
5.8. Vorsorgungsprioritäten	49
6. Übertragbarkeit nach Syrien	51
6.1. Daten und Fakten	51
6.1.1. Klima.....	51
6.1.2. Geographie.....	52
6.1.3. Bodenbeschaffenheit	54
6.1.4. Wasser.....	54
6.1.5. Abwasser.....	59
6.1.6. Sozioökonomische Faktoren.....	60
6.1.7. Betriebswirtschaftliche Faktoren.....	62
6.1.8. Richtlinien.....	64
6.2. Kriterien für die Auswahl der Verfahren in Syrien	67
6.2.1. Klima.....	67
6.2.2. Boden.....	67
6.2.3. Wasser.....	68
6.2.4. Abwasser.....	68
6.2.5. Ökonomie.....	69
6.2.6. Bevölkerungswachstum.....	69
6.2.7. Raumeigenheiten.....	69
6.2.8. Platzbedarf.....	70
6.2.9. Akzeptanz.....	70
6.3. Anforderungsprofil für eine Abwasserreinigungsanlage	71
6.4. Auswahl der technologischen Lösungen	71

6.5. Die Wiederverwendung	75
6.5.1. Pflanzenschnitte.....	75
6.5.2. Gereinigtes Abwasser.....	75
6.5.3. Nutzungsprioritäten.....	78
6.6. Schlußwort	79

Literaturverzeichnis

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Pläne

1. Einleitung

Ohne Wasser gibt es kein Leben. Wasser ist unser wichtigstes Nahrungsmittel, der Grundstoff, der Hauptbestandteil der belebten Materie, lebensnotwendig für Menschen, Tiere und Pflanzen. Alle Lebensvorgänge sind abhängig vom Wasserkreislauf.

Steigender Wasserverbrauch und zunehmend Wasserverschmutzung sind die zwei Seiten der selben Medaille, die zu Wasserverknappung führen. In den Entwicklungsländern treibt derzeit die zunehmende Industrialisierung und der damit verbundene Produktionsanstieg fast automatisch die Nachfrage und damit die Verschmutzung von Wasser in die Höhe.

Industrielle und häusliche Abwässer, die oft ungeklärt in die Natur entsorgt werden, schadstoffhaltiges Sickerwasser wilder Müllhalden und ein häufig unsachgemäßer Pestizid- und Düngemittelleinsatz beeinträchtigen Oberflächen- und Grundwasser. Die Folgen: Bakteriologische und organische Verschmutzungen so wie steigende Schwermetall- und Nitratbelastungen.

Da dieses Problem ein globales Problem ist, und ohne eine gemeinsame Weltaktion nicht beseitigt werden kann, sind finanzielle und technische Hilfen in die Entwicklungsländer geflossen. Diese Hilfen sind fast nur den Metropolen und großen Städten zugute gekommen, die ländlichen Gebieten wurden meist vernachlässigt.

Für Deutschland wurde das Problem des Abwassers im ländlichen Raum früh erkannt und es wurden verschiedene Verfahren zur Reinigung von Abwässern entwickelt.

U. a. auch Verfahren zur naturnahen Abwasserreinigung. Die Pflanzenkläranlage z. B. bietet in Deutschland eine umweltfreundliche, preiswerte und nachhaltige Lösung für die Abwasserbehandlung im ländlichen Raum.

In Dieser Arbeit werden die verschiedenen naturnahen Abwasserreinigungsverfahren behandelt. In erster Linie sind dies Pflanzenkläranlagen. Im Anschluß werden die Voraussetzungen, unter denen diese Verfahren nach Syrien übertragen werden können geprüft.

2. Problemstellung

Die Länder der Dritten Welt haben alle gemeinsam einen großen Nachholbedarf bei der Sanierung ihrer Grund- und Oberflächengewässer und bei der Reduzierung ihrer Abwasserprobleme. Da die anfallenden Abwässer zumeist ungeklärt in die nächstgelegenen Oberflächengewässer entsorgt werden, sind die meisten großen Flüsse seit langer Zeit biologisch fast tot.

Am größten ist dieses Problem in denjenigen Ländern, die zusätzlich noch unter Wassermangel leiden. Dort ist das Leben der Menschen von jedem Tropfen Wasser abhängig. Ein Beispiel hierfür ist Syrien, ein Land, das besonders in den letzten Jahren unter stark zunehmender Trockenheit gelitten hat. Senkung des Grundwasserspiegels, Winderosion, Desertifikation und ein gefährlicher Wasserkonflikt mit der Türkei sind die Folgen.

Zwar gibt es einige vielversprechende Ansätze, das Abwasserproblem in Syrien in den Griff zu bekommen, doch diese beziehen sich nur auf die großen Städte, an deren Rändern sich neue Industriezentren entwickeln. Der ländliche Raum wird vernachlässigt.

Doch auch hier gibt es großen Handlungsbedarf. Nahezu sämtliche häuslichen Abwässer fließen ungeklärt in den Boden oder in Gewässer. Die notwendigen Technologien zur Abwasserreinigung fehlen jedoch, ebenso wie die finanziellen Mittel solche zu installieren. Deshalb muß ausländische Technologie nach Syrien importiert werden, soll das Problem in den nächsten Jahren gelöst werden. Diese sollte in Bau und Betrieb preiswert sein.

Naturnahe Abwasserreinigungsverfahren, in Deutschland seit den 70er Jahren in Betrieb, könnten preiswerte und angepaßte Lösungen bieten. Nicht nur die Übertragbarkeit der Technologie kann dabei ein Problem sein, auch die beteiligte Bevölkerung muß eine solche Lösung akzeptieren. Darüber hinaus fehlen die notwendigen behördlichen Rahmenbedingungen fast gänzlich. Diese müssen erst geschaffen werden, soll eine solche Technologie in Syrien erfolgreich eingesetzt werden.

3. Abwasserbehandlung im ländlichen Raum Deutschlands

3.1. Kommunales Abwasser

Kommunales Abwasser ist das häusliche Abwasser oder Gemisch aus häuslichem und industriellem Abwasser und/oder Niederschlagwasser. Im ländlichen Raum besteht das Abwasser im wesentlichen aus häuslichem Abwasser.

Die Verschmutzung des Abwassers wird üblicherweise durch die Parameter CSB, BSB₅, N und P beschrieben. Pro Person ist für häusliches Abwasser mit den in Tabelle 1 aufgeführten Schmutzfrachten zu rechnen. Diese Werte sind als Größenordnungen zu verstehen und können im Einzelfall erheblich schwanken.

Das häusliche Abwasser entspricht von den Inhaltsstoffen her dem normalen häuslichen Schmutzwasser. Allerdings ergeben sich durch den geringeren Wasserverbrauch im ländlichen Raum ein Wert von 120 l/(E*d). Der tatsächliche Verbrauch, insbesondere in kleinen Dörfern mit einigen hundert Einwohnern, ist eher im Bereich 80-100 l/(E*d) zu erwarten [27].

Tabelle 1: Verschmutzung des häuslichen Abwassers im ländlichen Raum [27]

	Fracht g/(E*d)	Konzentration mg/l
CSB	120	1000
BSB ₅	60	500
N	12	100
P	2,5	21

3.2. Richtlinien

3.2.1. Die Richtlinien der Bundesrepublik Deutschland

Die Mindestanforderungen für die Sauberkeit von behandeltem Abwasser wird z. Zt. durch Verwaltungsvorschriften des Bundes geregelt, die sich an den Größenklassen der Klärwerke orientieren. Für Kleinkläranlagen (bis 50 EW) gelten bisher keine Bundesvorschriften. Mittlerweile fordern aber alle Länder wenigstens eine Mindestgüte des Abwassers aus Kleinkläranlagen, wie sie für die nächste Größe der kleinen Kläranlagen (bis 1000 E+EW) bestimmend ist. Demnach muß vor allem die organische Belastung des Abwassers, die sich über den BSB₅ und CSB ausdrückt, reduziert werden [9] (S.103). Das Beispiel der Pflanzenkläranlage in Golzen/Krawinkel wurde nach diesen nationalen Richtlinien geplant und umgesetzt.

Tabelle 2: Mindestanforderungen für das Einleiten von Abwasser im Gewässer [23]

Klär- anlagen Größen- klasse	EW	Kg BSB ₅ /d	Klärung mg/l		Weitergehende Reinigung mg/l		
			CSB	BSB ₅	Ammonium- Stickstoff	Gesamt- Stickstoff	Gesamt- Phosphor
1	< 1000	<60	150	40	-	-	-
2	1000 bis 5000	60 bis 300	110	25	-	-	-
3	5000 bis 200000	300 bis 1200	90	20	10	18	-
4	20000 bis 1000000	1200 bis 6000	90	20	10	18	2
5	>100000	> 6000	75	15	10	18	1

3.2.2. Die Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft

Für die Behandlung von kommunalem Abwasser hat die EG 1991 neue Richtlinien erlassen, die strengere Maßstäbe setzen als die bisher gültigen nationalen Vorschriften. Bis zum Ende des Jahres 2005 sollen sämtliche Abwasserentsorgungsanlagen nach diesen Richtlinien arbeiten.

Tabelle 3:
Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen.
Anzuwenden ist der Konzentrationswert oder die prozentuale Verringerung [12]

Parameter	Konzentration	Prozentuale Mindestverringerung ¹	Referenzmeßverfahren
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅ bei 20°C) ohne Nitrifikation ²	25 mg/l O ₂	70-90 40 gemäß Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen	Homogenisierte, ungefilterte, nicht dekantierte Probe. Bestimmung des gelösten Sauerstoffs vor und nach fünftägiger Bebrütung bei 20 °C ± 1 °C in völliger Dunkelheit. Zugabe eines Nitrifikationshemmstoffs
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	125 mg /l O ₂	75	Homogenisierte, ungefilterte, nicht dekantierte Probe. Kalium-Dichromat
Suspendierte Schwebstoffe insgesamt	35 mg/l ³ 35 gemäß Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen (mehr als 10 000EW) 60 gemäß Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen (2 000-10 000EW)	90 ¹ 90 gemäß Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen (mehr als 10 000 EW) 70 gemäß Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen (2 000-10 000EW)	- Filtern einer repräsentativen Probe durch eine Filtermembran von 0,45 im Trocknen bei 105 °C und Wiegen - Zentrifugieren einer repräsentativen Probe (mindestens 5 Min. bei einer durchschnittlichen Beschleunigung von 2 800 bis 3 200 g), Trocknen bei 105 °C und Wiegen.

¹Verringerung bezogen auf die Belastung des Zulaufs.

² Dieser Parameter kann durch einen anderen ersetzt werden: gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) oder gesamter Bedarf an Sauerstoff (TOD), wenn eine Beziehung zwischen BSB₅ und dem Substitutionsparameter hergestellt werden kann.

³ Diese Anforderung ist fakultativ.

Die Analysen von Einleitungen aus Abwasserteichen sind an gefilterten Proben auszuführen. Die Gesamtkonzentration an suspendierten Schwebstoffen in ungefilterten Wasserproben darf jedoch nicht mehr als 150 mg/l betragen.

Tabelle 4:
Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in empfindlichen Gebieten, in denen es zur Eutrophierung kommt. [12]

Parameter	Konzentration	Prozentuale Mindestverringerung ¹	Referenzmeßverfahren
Phosphor insgesamt	2 mg/l P (10.000-100.000 EW)	80	Molekulare Absorptions-Spektrophotometrie
Phosphor insgesamt	1 mg/l P (mehr als 100 000 EW)	80	Molekulare Absorptions-Spektrophotometrie
Stickstoff insgesamt ²	15 mg/l N (10 000 bis 100 000 EW) 10 mg/l N (mehr als 100 000 EW ³)	70-80	Molekulare Absorptions-Spektrophotometrie

¹ Verringerung bezogen auf die Belastung des Zulaufs .

² Stickstoff insgesamt bedeutet : die Summe von Kjeldahl-Stickstoff (organischer N + NH₃), Nitrat (NO₃)-Stickstoff und Nitrit (NO₂)-Stickstoff .

³ Wahlweise darf der tägliche Durchschnitt 20 mg/l N nicht überschreiten . Die Anforderung gilt bei einer Abwassertemperatur von mindestens 12°C beim Betrieb des biologischen Reaktors der Abwasserbehandlungsanlage . Anstatt der Temperatur kann auch eine begrenzte Betriebszeit vorgegeben werden, die den regionalen klimatischen Verhältnissen Rechnung trägt .

Je nach der Gegebenheit vor Ort, können ein oder beide Parameter verwendet werden . Anzuwenden ist der Konzentrationswert oder die prozentuale Verringerung.

Tabelle 5 : Anzahl der Probenahmen [12]

Anzahl der Probenahmen innerhalb eines Jahres	Höchstzulässige Anzahl von Proben, bei denen Abweichungen zulässig sind
4 bis 7	1
8 bis 16	2
17 bis 28	3
29 bis 40	4
41 bis 53	5
54 bis 67	6
68 bis 81	7
82 bis 95	8
96 bis 110	9
111 bis 125	10
126 bis 140	11
141 bis 155	12
156 bis 171	13
172 bis 187	14
188 bis 203	15
204 bis 219	16
220 bis 235	17
236 bis 251	18
252 bis 268	19
269 bis 284	20
285 bis 300	21
301 bis 317	22
318 bis 334	23
335 bis 350	24
351 bis 365	25

3.3. Verfahren

Die Technologiewahl zur Entsorgung wird wesentlich bestimmt durch die Höhe des Trinkwasserverbrauches und die daraus resultierende Abwassermenge, die Zusammensetzung aller anfallenden Abwässer sowie die Anforderung des Umwelt- und Ressourcenschutzes.

Im ländlichen Bereich wird das Abwasser oftmals über kilometerlange Leitungen zu zentral gelegenen Kläranlagen transportiert. Vor allem die unzumutbar hohen Anschlußkosten für abgelegene Orte und Einzelhäuser führen dazu, daß auch in Zukunft dezentrale Kläranlagen eingesetzt werden müssen [4] (S.32).

Der Begriff „dezentrale Kläranlagen“ besitzt eine doppelte Bedeutung:

- Kleinkläranlagen sind Anlagen für Grundstücke und einzelne Häuser (<50 EGW)
- Kleine Kläranlagen sind dezentrale Ortskläranlagen für Gemeinden und Dörfer

3.3.1. Technische Anlagen

Technische Kläranlagen bestehen in der Regel aus zwei Behandlungsstufen, einer mechanischen Vorreinigung und einer biologischen Reinigungsstufe.

Die mechanische Stufe dient der Abscheidung ungelöster bzw. fester Stoffe. In der biologischen Stufe wird das vorgereinigte Abwasser im aeroben Milieu weiter behandelt. Beide Behandlungsstufen sind als Einheit zu betrachten.

3.3.1.1. Mechanische Behandlung in Mehrkammergruben

In Mehrkammergruben werden absetzbare Stoffe und Schwimmstoffe zurückgehalten; sie dienen der mechanischen und teilbiologischen Reinigung des Abwassers. In der DIN 4261 werden Mehrkammer-Absetzgruben und Mehrkammer-Ausfaulgruben beschrieben. Sie unterscheiden sich durch ihre Größe. Während Mehrkammer-Absetzgruben ein Nutzvolumen von 300 I/E (Mindestgröße 3.000 l) haben müssen, sind Mehrkammer-Ausfaulgruben mit einem Nutzvolumen von 1.500 I/E (Mindestgröße 6.000 l) auszufüllen. Nach der Vorschrift sind Mehrkammer-Absetzgruben für mind. 10 EW, Ausfaulgruben für mind. 4 E zu dimensionieren. Angeboten werden Dreikammergruben bis ca. 10 EGW in Ein-, bis 20 EGW in Zwei- und bis 50 EGW und größer in Dreibehälterausführung.

Absetzgruben können bis zu 4.000 l Nutzvolumen als Zweikammergruben gebaut sein. Darüber hinaus als Drei- oder Vierkammergruben. Ausfaulgruben sind grundsätzlich als Drei- oder Mehrkammergruben zu bauen. Die erste Grube einer Zweikammergrube muß zwei Drittel des Gesamtvolumens einnehmen und bei Dreikammergruben die Hälfte.

Der auf den Abbau organischer Stoffe BSB_5 bezogene Wirkungsgrad von Absetzgruben erreicht durch die Grobentschlammung des Abwassers im besten Falle etwa 25% bei einer Mindestaufenthaltszeit von 2 Tagen. In einer Ausfaulgrube kommt es aufgrund der längeren Aufenthaltszeit des Abwassers zu einer Ausfaulung des Schlammes, so daß der Wirkungsgrad hier bis 40% betragen kann. Die ablaufenden Schmutzkonzentrationen sind jedoch immer noch so hoch, daß eine Einleitung in Oberflächengewässer nicht akzeptabel ist und deshalb das Ablaufwasser biologisch nachbehandelt werden muß.

In der Regel soll die erste Grube einer Mehrkammer-Absetzgrube bei Bedarf, mindestens aber einmal jährlich entschlammt werden. Eine Mehrkammer-Ausfaulgrube ebenfalls bei Bedarf, im allgemeinen aber in zweijährigem Abstand.

Von den Möglichkeiten der Behandlung und Beseitigung von Schlamm aus Mehrkammergruben und Kläranlagen ist die Vererdung von Klärschlamm in Schilfbeeten zu empfehlen.

Die Wartung von Mehrkammergruben beschränkt sich neben der Schlammabfuhr auf die Beseitigung von Verstopfungen, sowie die Überprüfung auf undichte Stellen des Behälters [4] (S.32-35).

3.3.1.2. Biologische Nachbehandlung

- Belebungsanlage

Belebungsanlagen bestehen aus einem Absetzbecken, dessen Funktion auch von einer vorgeschalteten Mehrkammergrube übernommen werden kann, und einer Belebungs- und Nachklärstufe. Im Belebungsbecken wird der Schlamm durch Pumpen oder Rührwerke bewegt und für die Mikroorganismen (Belebtschlamm) Luft in das Abwasser eingeblasen. Das Nachklärbecken ist notwendig, um den Belebtschlamm abzusetzen, von dem ein Teil in die Belebungsstufe zur Ergänzung der reinigenden Mikroorganismen zurückgepumpt wird. Der Überschussschlamm wird in die mechanische Vorbehandlung geführt, so daß zusätzlicher Schlamm entsorgt werden muß [4] (S.38).

- Tropfkörper

Beim Tropfkörperverfahren wird das Abwasser über einen Drehsprenger oder ein Rinnensystem auf der Oberfläche eines mit Schlacke gefüllten „Turmes“ verregnet. Auf der Oberfläche des Füllmaterials bildet sich der sogenannte „biologische Rasen“, der aus Mikroorganismen besteht, welche die Reinigung des Abwassers übernehmen. Eine gute Durchlüftung des Tropfkörpers ist notwendig. Ein Tropfkörper wird in der Regel unterirdisch eingebaut, so daß eine ausreichende Luftzufuhr nicht immer gegeben ist. Ausgeschwemmte Teile des biologischen Rasens werden als Überschussschlamm in die Vorreinigung gepumpt und dort gespeichert. Es entsteht also zusätzlicher Schlamm [4] (S.39).

- Druckbelüftete und rotierende Tauchkörper

Die Tauchkörperanlagen stellen in ihrer Entwicklung eine Kombination aus Belebungs- und Tropfkörperverfahren dar. Sie bestehen aus Walzen, die mit Kunststoffscheiben auf einer sich langsam drehenden Welle besetzt sind. Die Scheiben dienen als Aufwuchsfläche für den biologischen Rasen. Während der Rotation taucht ein Teil des Walzenkörpers zur Nährstoffaufnahme der Mikroorganismen in das Abwasser ein, während der andere Teil in dieser Zeit den nötigen Sauerstoff aufnimmt [4](S.40).

3.3.1.3. Schlammbehandlung

Von den Möglichkeiten der Behandlung und Beseitigung von Schlamm aus Mehrkammergruben und Kleinkläranlagen ist die Vererdung von Klärschlamm in Grasbeeten zu empfehlen.

Klärschlamm stellt mit seinen Nähr- und Mineralstoffen (N, P, K und Mg) und seinen bodenphysikalischen Eigenschaften einen Wertstoff dar.

Dabei bietet sich als kostengünstige Alternative die Vererdung in der Landschaft oder im Landschaftsbau an; allerdings müssen sowohl der Klärschlamm als auch die beschlammten Böden bestimmte Kriterien erfüllen.

Es wird auf die Akkumulation von schwer abbaubaren oder gesundheitsschädlichen Stoffen im Boden hingewiesen. Dabei werden insbesondere organische Verbindungen genannt.

Dabei wird abgelagerter Klärschlamm mit Gras eingesät. Sobald durch das kräftig gewachsene Gras eine Durchwurzelung des Schlammes erfolgt, wird eine neue Schicht Klärschlamm aufgebracht und erneut eingesät. Bei einem Flächenbedarf von 0,33 m²/E konnte der Klärschlamm innerhalb von zwei Jahren zu fruchtbarem Humus umgewandelt werden. Einsatzzwecke für den vererdeten Schlamm finden sich im Landschaftsbau. Vorteilhaft ist, daß es im Verlauf der zweijährigen Prozedur zu einem echten Abbau von organischen Schadstoffen (PCB, AOX) kommt, während bei den Schwermetallen die Konzentrationsabnahme auf Ausschwemmung und Aufnahme durch das Gras zurückzuführen ist [40].

3.3.1.4. Zusammenfassung

Zum Vergleich die Vor – und Nachteile verschiedener Methoden technischer Anlagen in der folgenden Tabelle.

Tabelle 6: Die Vor- und Nachteile der technischen Kläranlagen [4] [27].

Anlage	Vorteile	Nachteile
Belebungsbecken	- Hohe Leistung und Nitrifikation Anschlußgrößen > 15 EW	- Schlechte Reinigungsleistung bei kleinen Anschlußgrößen - hoher Technisierungsgrad und aufwendige Steuerungstechnik
Tropfkörper	- Zufriedenstellender Abbau organischer- und Stickstoffverbindungen - Konstante Betriebsverhältnisse	- Schlechte Reinigungsleistung bei kleinen Anschlußgrößen - Regelmäßiger Abwasseranfall notwendig
Tauchkörper	- Robust und betriebssicher - Einhaltung der Überwachungswerte leicht	- Schlechte Reinigungsleistung bei kleinen Anschlußgrößen - hoher Technisierungsgrad und hohe Störanfälligkeit

3.3.2. Ökologische Entsorgungskonzepte

Dies sind Entsorgungskonzepte der Fäkalienbeseitigung. Dabei geht es um eine möglichst umweltschonende Abwasserreinigung und um die Wahrung des kleinen Wasser- und Nährstoffkreislaufes. Ökologische Abwasserentsorgungsverfahren setzen also schon bei der Entstehung des Abwassers an.

Sie sind gekennzeichnet durch:

- Abtrennung der Fäkalien von anderen Abwässern
- Einsatz von Komposttoiletten
- Minimierung des Stoffeintrags schwer abbaubarer Substanzen durch Nutzung von Regenwasser für Waschmaschinen (bei Tensiden)
- Ausfäulung des von Fäkalkeimen befreiten Abwassers für Beregnung und Düngung in der Landwirtschaft und im Gartenbau
- Versickerung des gereinigten, nitratarmen Abwassers im Boden zur Grundwasseranreicherung
- Verwendung des gereinigten Abwassers für die Toilettenspülung

- Kompostierung des ausgefaulten Schlammes und Aufbringung als Bodenverbesserungsmittel [4] .

Einfachanlagen zur Abwasserreinigung (Low – sanitation) werden gerade im ländlichen Raum vielfach und auch sinnvoll angewendet. Dazu zählen:

- Pit-latrines

Einfache Erdgruben. In verbesserter Form sind sie ausgerüstet mit Bodenplatte, Abtritt und Vorrichtungen zur Vermeidung und Behinderung des Eindringens von Fliegen, Moskitos u. ä. in den Klosettraum. Wasserspülung besteht nicht [20].

Die Voraussetzung ihrer Verwendung sind

Wohndichte < 200 E/ha

Grundwasser tiefer als 4 m

Wasserverbrauch < 50 l/E *d

Füllmenge: 40- 60 l/E/d

Betrieb: nach Füllung, entleeren (wenn möglich). Andernfalls mit geeignetem Bodenmaterial abdichten.

Auf die wasserwirtschaftlichen Probleme und Nachteile dieser Anlagen wird besonders hingewiesen. Trotzdem ist eine Anwendung in vielen Fällen nicht zu vermeiden [35] .

- Komposttoilette

Komposttoiletten sind einfache Gruben, in denen die Fäkalien 0,4 – 1 Jahr verbleiben und kompostieren. Abwasser versickert dabei und wird durch seinen Sickerweg gereinigt [20] .

Die Voraussetzung ist

$$C/N= 20 \text{ bis } 30 / 1 \text{ (Fäkalien sind von Urin getrennt)}$$

Das erforderliche Volumen wird gerechnet:

$$V_{\text{erf}} \text{ (m}^3\text{)} = c * q * E$$

Wobei c: Faktor für zusätzliche organischen Stoffe (1,2 –1,5)

q: Anfall / E * a (0,3 m³) nach Waste Water Treatment Gate
(0,1 m³) Feststellung

E: Zahl der Benutzer

- Senkgruben (Aqua privies)

Senkgruben sind einfache Gruben, dabei sind die Voraussetzungen wie folgt:

Die erforderliche Größe: 1-6 m³

Wasserverbrauch: 4-10 l/d*E

Das Überlaufwasser wird versickert und eine regelmäßige Entschlammung ist erforderlich.

- Septic-tank

Diese Anlagen, die unter der Bezeichnung „Haus- und Grundstückskläranlagen nach DIN 4261, Teil 1“ bekannt sind, werden häufig eingesetzt, auch als kleine Gruppenkläranlagen in dünn besiedelten Gebieten oder Siedlungen, die weit entfernt von kommunalen Kläranlagen liegen [20].

Ein Septic tank besteht aus einer Senkgrube mit zusätzlicher Faulkammer und Überlauf

Aufenthaltszeit : 1-3 d

Mindestgesamtgröße: 1,5 m³

Schlammensorgung: 0,03-0,04 m³ Schlamm/ E*a

Tabelle 7 zeigt die erforderliche Größe in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl.

Tabelle 7: Das Volumen für Septic Tanks [11]

Zahl der EW	Länge in m	Breite in m	Höhe in m
12	2,50	1,25	1,50
16	2,75	1,50	1,50
20	3,00	1,50	1,50
30	4,00	2,00	2,00

Betrieb:

Routinemäßige Kontrolle des Schlammstandes und Entleerung, z. B. mit Saugwagen, wenn dieser zu hoch ist. Oft werden die Behälterinhalte so groß gewählt, daß die Leerungszeiten weit auseinander liegen. Gerade deshalb muß der Füllungsgrad kontrolliert werden. Der Grubeninhalt sollte, wenn irgend möglich, in eine Kläranlage eingeleitet werden [35].

3.3.3. Naturnahe Abwasserreinigung

Auf der Suche nach Anlagen zur Abwasserbehandlung im ländlichen Raum werden in den letzten Jahren zunehmend naturnahe Verfahren in den Vordergrund gerückt, die neben einer optimalen Einbindung in die Landschaft ohne nennenswerten technischen Einsatz eine vollbiologische Reinigung des Abwassers bewirken.

Am stärksten haben sich die Oxydationsteiche durchgesetzt, die heute allgemein anerkannte Regel der Technik sind. Von diesen sind z. B. allein in Niedersachsen im Regierungsbezirk Braunschweig ca. 80 Anlagen in Betrieb. Wegen des großen Flächenbedarfes und der Problematik der flächigen Abdichtung gegen den Untergrund werden solche Anlagen im allgemeinen nur bis zu 1000 EGW gebaut.

Als Alternative dazu kamen vor ca. 15 Jahren die Pflanzenkläranlagen ins Gespräch, welche bei geringerem Flächenbedarf eine bessere Reinigung der Abwässer in Aussicht stellten. Bis heute liegen allerdings keine ausreichenden Erfahrungswerte vor, die eine sichere Dimensionierung bei Pflanzenkläranlagen zulassen. Wären überzeugende Anlagen in Betrieb, gäbe es keinen Grund, sie nicht alternativ zu den bewährten Teichanlagen einzusetzen. Das immer wieder vorgebrachte Argument, die Betonlobby verhindere die Verbereitung von Pflanzenkläranlagen, ist insofern schlicht absurd, als die bewährten Oxidationsteichanlagen ebenfalls ohne Beton auskommen und sich im gleichen Zeitraum als sicheres Verfahren durchsetzen konnten [2] (S.77).

Im folgenden werden die einzelnen naturnahen Verfahren beschrieben.

- Abwasserteiche

Ein Abwasserteich besteht aus einem bis zu 1,20 m tiefen Erdbecken, in welches das Rohabwasser an der einen Seite einfließt, um nach einer Verweilzeit von bis zu 3 Monaten auf der anderen Seite weitgehend gereinigt abzufließen. Die Sauerstoffversorgung erfolgt physikalisch über die Wasseroberfläche und biologisch durch die Sauerstoffproduktion sich entwickelnder Algen. Die Reinigung geschieht durch Absetzvorgänge sowie durch anaerobe und aerobe bakterielle Prozesse.

Die abwassertechnische Vereinigung (ATV 1989) hat für den Bau und Betrieb von Abwasserteichen als kommunale Kläranlage das Arbeitsblatt A 201 herausgegeben.

Obwohl Abwasserteiche nicht in DIN 4261 vorkommen, werden sie von den Wasserbehörden als Hauskläranlagen ohne weiters genehmigt. Gefordert wird dabei aber im Gegensatz zu kommunalen Abwasserteichanlagen die Vorschaltung einer Zwei-Kammer-Grube. Eine neuerdings von Behörden geforderte Teichabdichtung verteuert das Verfahren erheblich [4](S.43).

- Sumpfbeete

Bepflanzt man Abwasserteiche, die als Hauskläranlagen dienen, mit Sumpfpflanzen und füllt sie mit Kies auf, entsteht ein Sumpfbeet mit einem wirkungsvolleren bakteriellen Milieu, das die Abwasserreinigung im Vergleich zu einem offenen Teich etwas verbessert. So wird nur noch eine Fläche von etwa 10 m² pro Einwohner benötigt. Ein wichtiger Aspekt dabei ist, daß solche Sumpfbeete als Gartenteiche angelegt und gepflegt werden können. Den Betreibern bleibt überlassen, welche Sumpfpflanzen sie einsetzen: Schwertlilie, Wasserschwaden, Binsen, Seggen, Rohrkolben, Schilf, Igelkolben und andere mehr. Eine Absetzgrube ist vorzuschalten [4](S.44).

- Abwasserverregnung

Eine ökologisch orientierte Abwasserbeseitigung stellt die Verregnung von häuslichen Abwässern auf landwirtschaftlichen Flächen dar. Die hydraulische Belastung der Böden ist dabei im Durchschnitt mit 2 mm/d gering, sie liegt nur doppelt so hoch wie durch natürliche Niederschläge. Für sandige Böden besteht daher kein Problem, das Wasser aufzunehmen und die abbaubaren Inhaltsstoffe im Boden zu verarbeiten. Wegen der gesundheitlichen Gefahren sollte es vermieden werden, solche Pflanzen für die menschliche Nahrung auf diesen Feldern zu ziehen, von denen Teile, die zur Nahrung dienen, vom Abwasser berührt werden, z. B. Kohl, Salat, Gemüse u. ä. [4](S.46).

- Untergrundverrieselung

Bei der Untergrundverrieselung wird das vorgereinigte Abwasser flächenhaft über ein Rieselrohrnetz versickert. Daher lassen sich zu diesem Anlagentyp systembedingt keine allgemeingültigen Aussagen über die „Ablaufwerte“- also den Zulaufkonzentrationen zum Grundwasser – treffen, da sie von den jeweiligen Bodenverhältnissen und Flurabständen abhängig sind. Die verwendeten Sickerrohre sollen eine Weite von 100 mm haben und müssen wenigstens 0,6 m tief und aus

Gründen des Grundwasserschutzes mindestens 0,6 m über dem höchsten Grundwasserstand verlegt sein. Mindestens 2 Stränge mit einem Mindestabstand von 2 m sind zu verlegen. Die Länge der Rohrleitungen hängt von der Wasseraufnahmefähigkeit des anstehenden Bodens ab.

Die hydraulische Belastung ist im Mittel 10 mm/d. Nur ein gut durchlässiger Boden wird diese Wassermengen abführen können. Zweifellos lassen sich bei gut durchlüfteten Böden und hohen Flurabständen gute oder sehr gute Reinigungsergebnisse erzielen [4](S.46).

- Rieselfelder

Rieselfelder stellen ein weiteres, früher genutztes naturnahes Verfahren der Abwasserlandbehandlung dar. Sie entstanden schon vor der letzten Jahrhundertwende am Rande großer Städte. Das Abwasser wurde über Gräben zu Versickerungsbeeten geführt, versickerte dort auf Grünflächen und wurde in 60 cm Tiefe über Drainagerohre wieder abgeführt. Die Beete wurden umtrieblich beschickt und nach dem Trockenfallen und einer Regenerationszeit wieder neu befüllt.

Hier hat, wie bei der Untergrundverrieselung, die Abwasserbeseitigung Vorrang vor der landwirtschaftlichen Nutzung. Bei intensiver Betreuung dieser Flächen und einer ausgeklügelten Beschickungsabfolge konnten diese Beete auch gärtnerisch und landwirtschaftlich genutzt werden. So deckte Berlin in damaliger Zeit zu 50% seinen Obst- und Gemüsebedarf von diesen Flächen.

Mit dem Anwachsen der Städte und dem vermehrten Anschluß an Trinkwassernetze und Kanalisationen reichten die Rieselfelder nicht mehr aus, um die großen Wassermengen zu verarbeiten. Neue Flächen zu erwerben war entweder zu teuer oder sie waren nicht verfügbar. Der Flächenbedarf der Rieselfelder liegt zwischen 10 – 60 m² pro Einwohner bei einer durchschnittlichen hydraulischen Belastung von 5 mm/d [4](S.47).

- Sandfilter

Wird nicht ein natürlich anstehender Boden für die Durchsickerung des Abwassers verwendet, sondern ein spezielles Substrat, nämlich Sand oder Kies, so kann die hydraulische Belastung bis auf 25 mm/d und mehr gesteigert werden .

Sandfilter und Sandfiltergräben werden schon lange in der Trinkwasseraufbereitung und in der Abwasserreinigung eingesetzt. Sie sind in der DIN 4261 als Nachreinigungsstufe von Hausklärgruben vorgesehen [4] (S.48).

- Filtergraben

An Standorten ohne ausreichend wasserdurchlässige Böden oder mit hohem Grundwasserstand, ist nach der DIN 4261 auch der Bau eines Sandfiltergrabens mit vorgeschalteter Mehrkammergrube möglich. Das entschlammte Abwasser wird über Sickerrohre DN 100 in den Graben geleitet und an der Sohle ebenfalls über Rohre drainiert. Der Filtergraben muß mindestens 1,25 m, die Filterschicht selbst mindestens 0,6 m tief sein. Pro angeschlossenem Einwohner werden 6 m Sickerleitung gefordert. Die Leitungen können auch im Abstand von 1 m parallel verlegt werden, so ergibt sich ein „Filterbeet“ mit einer Fläche von 6 m²/E. In der DIN 4261 werden bautechnische Angaben gemacht. Die für die Abwasserreinigung wichtigste Komponente, der Sandkörper, soll aus Grobsand oder Feinkies aufgebaut sein um Verstopfungen zu vermeiden. Bei einer Filtertiefe von 0,6 m ist der Wirkungsgrad aufgrund des groben Filtermaterials und der kurzen Aufenthaltszeiten des durchsickernden Abwassers gering [4] (S.37).

- Pflanzenkläranlagen (Bewachsene Bodenfilter)

Die Pflanzenkläranlage besteht aus einem Sandfilter, der mit Sumpfpflanzen bepflanzt ist. In das Bett wird das Abwasser eingeleitet und gereinigt. Sie läßt sich als Grenzfall zwischen Teich- und Landbehandlung definieren und hat einen geringen spezifischen Flächenbedarf mit einhergehender hoher hydraulischer Belastung [4].

- Zusammenfassung

Zum Vergleich die Vor – und Nachteile verschiedener Methoden naturnaher Abwasserreinigung in der folgenden Tabelle.

Tabelle 8: Vergleich verschiedener Anlagen aus technischer Sicht [4] [23] [27]

Methode	Pro	Kontra
Abwasserteich	Hohe Betriebsstabilität	Akzeptable Reinigungsleistung
	Mögliche Mitbehandlung von Regenwasser	Hohe Verdünnungsrate
	Schaffung eines Feuchtbiotops in der Landschaft	Mögliche Gerüche und Ausbreitung von Fäkalkeimen
	Gute Reinigungsleistungen bei einer Dimensionierung von 15-20 m ² /E	Großer Flächenbedarf (10-20 m ² /E)
	Geringe Störanfälligkeit, kostengünstige Wartung	
Sumpfbeet	Mögliche Nutzung als Gartenteich	Benötigte Fläche ca.10 m ² /E
	Lebensraum für Flora und Fauna	Mögliche Geruchsbelästigung
Abwasserverregnung	Mögliche Grundwassererneuerung	Mittlere Reinigungsleistung
	Mögliche Reduktion von Mineraldünger	Geringe hydraulische Belastung
		Sandiger Boden notwendig
Untergrundverrieselung	Kostengünstig	Unsichere Reinigungsleistung
	Gute Leistung auf durchlässigen Böden	Nicht kontrollierbar, nicht steuerbar
		Keine Nutzung der Nährstoffe
		Mögliche Verstopfung des Rieselrohrnetzes
Rieselfelder	Mögliche Nutzung für die landwirtschaftliche Produktion	Benötigte Flächen 10 – 60 m ² /E
Sandfilter	Hohe hydraulische Belastung (25mm/d)	Mögliche Kolmationsgefahr
Filtergraben	Benötigte Fläche 6 m ² /E	Durchlässige Böden oder hoher Grundwasserstand notwendig
	Wenig Technik, sehr kostengünstig	Unzureichende Reinigungsleistung
	Betriebssicher und wartungsfreundlich gegenüber Belastungsschwankungen und Zeiten ohne Abwasseranfall	
Pflanzenkläranlage	Hohe Reinigungsleistung	Mögliche Kolmationsgefahr
	Preiswert	Weniger Leistung im Winter
	Landschaftlich schön	Durchlässiger Boden
	Hohe hydraulische Belastung	
	Hohe Prozeßstabilität auch bei Stoßbelastungen	
	Geringe Geruchsbelastung	

3.3.4. Pflanzenkläranlage

Zum Verständnis der Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenkläranlagen ist ein Rückblick auf ihre Entwicklung in der Abb. 1 angebracht. Sie leiten sich letztlich von den altbekannten Verfahren der Abwasserbehandlung ab. Die Erforschung stoffwechselphysiologischer Leistungen von Sumpfpflanzen bei der Abwasserreinigung durch Seidel geht auf das Jahr 1978 zurück.

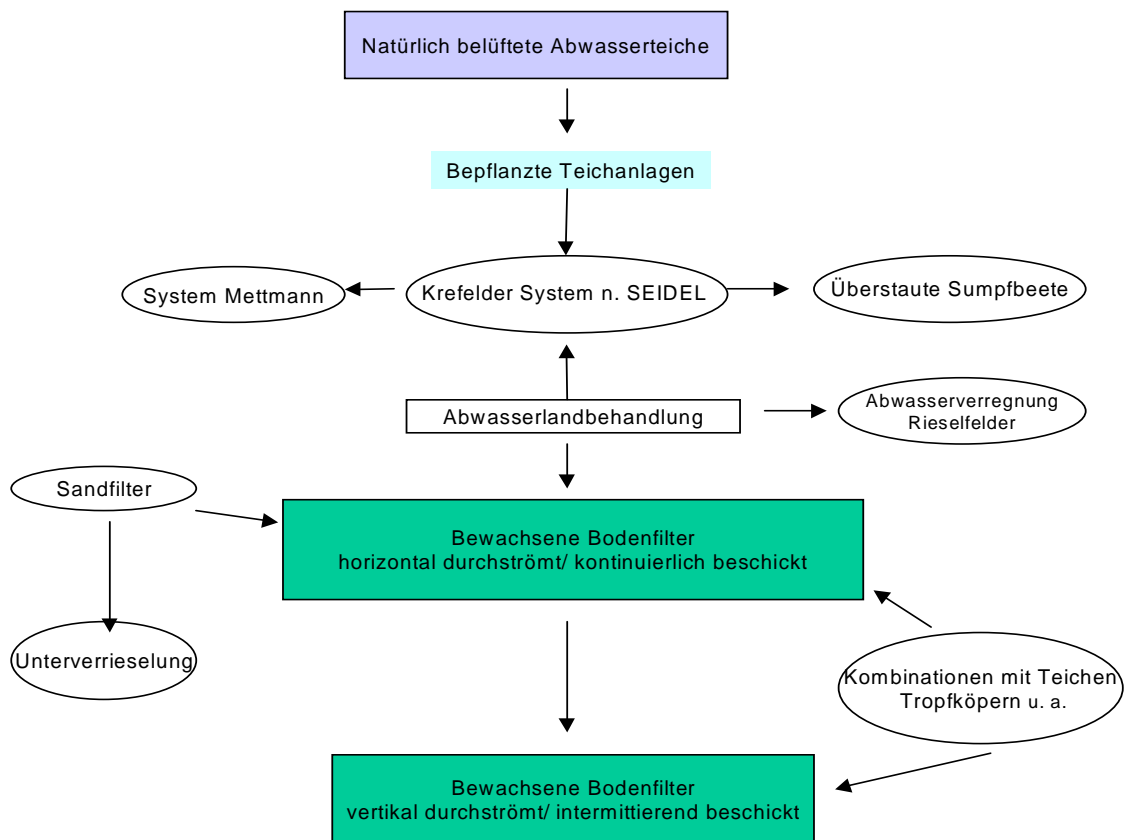


Abbildung 1 : Entwicklung der Pflanzenkläranlagen

Eine Pflanzenkläranlage ist eine Kläranlage mit Pflanzenbeeten als biologischer Reinigungsstufe. Zu einer Pflanzenkläranlage gehören aber neben dem abwasserdurchströmten Pflanzenbeet noch folgende technische Einrichtungen:

- Zu- und Ablaufeinrichtungen mit Kontrollschacht
- Vorreinigungsanlage
- Pumpenanlage bei fehlendem Gefälle
- Wartungs- und Betriebseinrichtungen (z.B. Betriebsgebäude)

Das Pflanzenbeet besteht aus einem mit Sumpfpflanzen bewachsenen sandig – kiesigen Bodenkörper, der bis zu 5% bindige Anteile aufweisen kann.

Man unterscheidet zwischen horizontal (Abb. 2) und vertikal (Abb. 3) durchströmten Pflanzenbeeten. Das meist im freien Gefälle zugeführte mechanisch vorgereinigte Abwasser fließt beim horizontal durchströmten Pflanzenbeet gleichmäßig verteilt, jedoch intermittierend auf der einen Seite des Beetes zu. Nach Durchströmen des Beetes in überwiegend horizontaler Richtung wird das Abwasser mit einem Dränrohr gesammelt und über einen Kontrollschacht abgeleitet. Ein Großteil der Poren des Bodenkörpers ist ständig mit Wasser gefüllt.

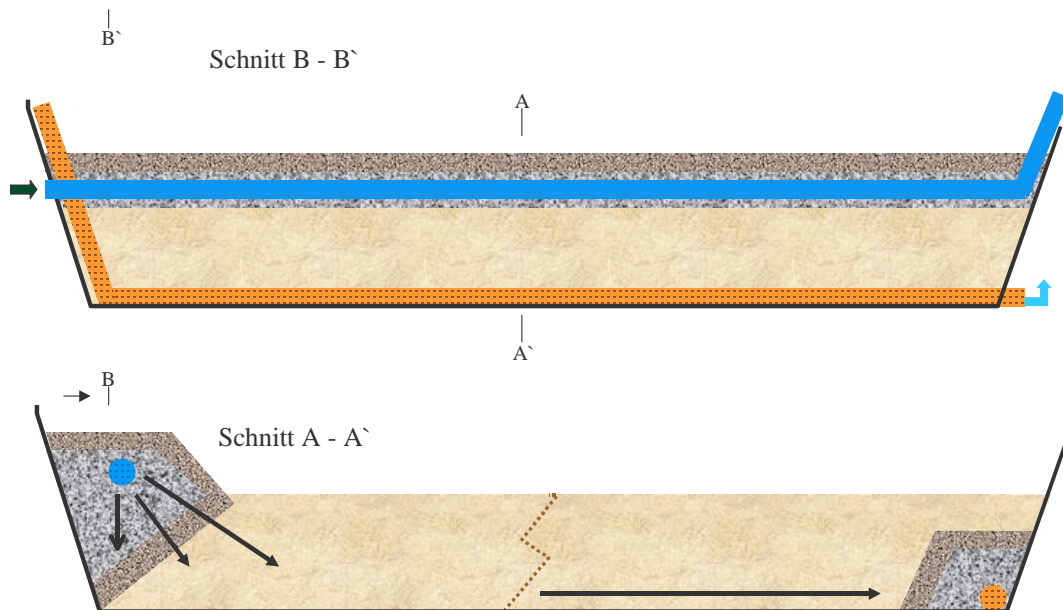


Abb. 2 : Horizontale Kläranlage

Beim vertikal durchströmten Beet erfolgt die Beschickung über die Beetoberfläche meist intermittierend mittels Pumpen. Mehrere über dem Beet oder im Bereich der

Beetoberfläche verlegte gelochte Rohre verteilen das zufließende Abwasser über die gesamte Oberfläche.

Im Vergleich zum horizontal durchströmten Beet ist das Bodenmaterial hier nur kurzfristig eingestaut, so daß sich die Poren wieder mit Luft füllen können.

Grundsätzlich ist der Bodenkörper tiefer angelegt als beim horizontal durchströmten Beet [23]

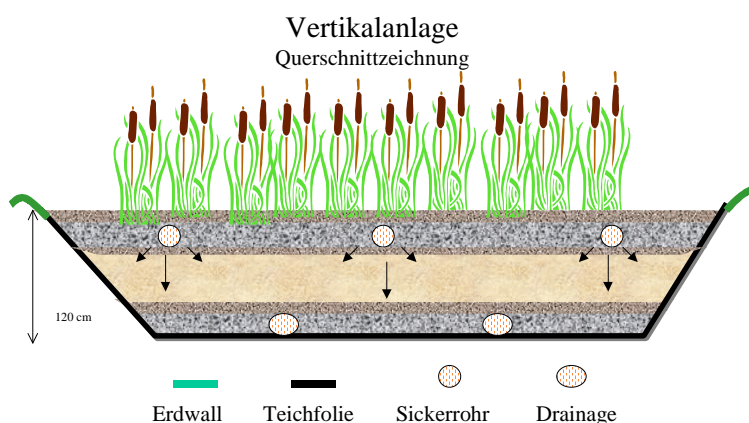


Abb. 3 : Vertikale Kläranlage

3.3.4.1. Funktionsprinzip der Abwasserreinigung in einem Pflanzenbeet

Die Wirkungsmechanismen der Abwasserbehandlung im Pflanzenbeet sind durch komplexe physikalische, chemische und biologische Vorgänge gekennzeichnet, die sich aus dem Zusammenwirken von Boden, Mikroorganismen, Pflanzen und Abwasser ergeben.

- Boden

Der Reinigungsprozeß wird wesentlich vom Bodenkörper und seinem Aufbau beeinflusst. Die biologischen Abbauvorgänge laufen auf der Oberfläche der Bodenpartikel und der Pflanzenwurzeln ab. Hier sitzen Millionen von Mikroorganismen, die sich von den Abwasserinhaltsstoffen ernähren und sie zu für das Gewässer unschädlichen Verbindungen abbauen. Dazu muß der Bodenkörper dauerhaft eine ausreichende hydraulische Durchlässigkeit aufweisen.

Pflanzenkläranlagen die in den letzten Jahren errichtet wurden, unterscheiden sich auch durch die Verwendung von bindigem oder nicht bindigem Bodenmaterial. Die Vorteile des bindigen Bodenmaterials, wie bessere P – Entfernung, mehr Aufwuchsfläche für Mikroorganismen sowie eine bessere Eignung als Pflanzenstandort werden allerdings von einer Reihe von Nachteilen, die letztlich im deutlich höheren spezifischen Flächenbedarf münden, überwogen. Das größere Porenvolumen im nichtbindigem Boden bewirkt eine höhere Wasser- und Luftdurchlässigkeit, was sich als entscheidender Faktor für die Leistungsfähigkeit und die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit herausgestellt hat.

Daneben spielen vor allem Filtrations- und Anlagerungsvorgänge eine wesentliche Rolle. Verarbeitet werden können nur biologisch gut abbaubare Stoffe, wie sie üblicherweise im häuslichen Abwasser enthalten sind. Andere Stoffe, wie z.B. Phosphate, lassen sich biologisch nicht abbauen, sie können aber teilweise an die geringen Anteile bindigen Materials angelagert werden.

- Pflanzen

Für die Abwasserreinigung werden Röhrichtgewächse oder Sumpfpflanzen verwendet, die ihren natürlichen Lebensraum an den Uferzonen der Gewässer haben. Hier in der Tabelle 8 sind die am häufigsten Pflanzenarten, die zum Einsatz in Frage kommen und ihre Vorteile und Nachteile

Tabelle 9: Die Vor- und Nachteile verschiedener Pflanzen für Kläranlagen [24]

Art	Vorteile	Nachteile
Gras	verträgt Sauerstoffmangel verträgt Behinderung der Photosynthese (während Einstau)	Empfindlich gegenüber Überlagerung
Schwertlilien Rohrkolben Wasserschwaden Binsen	Biomassenzuwachs	führt zur Filterbelastung
Schilf	Unempfindlich gegen Überdüngung Dichter Bewuchs Preiswert Hohe Durchlässigkeit Braucht viel Nährstoffe Positiv für die Naturschutz	Empfindlich in den ersten Jahren Verträgt niedrige Temperatur bis 6°C Braucht viel Wasser

Die in Pflanzenbeeten eingesetzten Helophyten zeigen bei Beschickung mit häuslichem Abwasser allgemein ein üppiges Wachstum. Die Funktion der Pflanzen wurde in der Vergangenheit vermutlich in einigen Bereichen überbewertet.

Die Pflanzen sind für den Reinigungsprozeß wichtig, weil sie

- als Aufwuchsfläche für Mikroorganismen dienen,
- durch Abgabe von chemischen Substanzen (Wurzelexudaten) die Aktivität der Mikroorganismen fördern,
- Verstopfung des Bodenkörpers entgegenwirken,
- für eine vergleichsweise konstante Temperatur im Bodenkörper sorgen (Beschattung im Winter, Wärmedämmung im Sommer),
- der Sauerstoffversorgung im Bodenkörper dienen.

3.3.4.2. Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenbeeten

Das Verfahren der Abwasserreinigung durch Pflanzenkläranlagen ist vor allem im ländlichen Bereich, für Streusiedlungen und zur Entsorgung von Einzelbauten im Außenbereich als biologische Reinigungsstufe nach Dreikammerabsetz- oder Dreikammerausfaulgruben bei Hauskläranlagen (Kleinkläranlagen) geeignet. Unter günstigen Bedingungen können größere Siedlungen (> 50 EW) entsorgt werden.

Da dieser Anlagentyp auch die Entfernung von Phosphor- und Stickstoffverbindungen ermöglicht, bietet er sich als dritte Reinigungsstufe an, etwa bei normalen Kläranlagen oder vor Seen, die eutrophiert sind bzw. umzukippen drohen.

Eine weitere Möglichkeit ist der Ersatz von Schönungsteichen biologischer Kläranlagen.

Weitere Anwendungsbereiche sind der Einsatz als Regenrückhaltebecken, die Reinigung von Oberflächen- und Regenwasser durch Versickerung und die Behandlung von Kläranlagenabläufen.

Durch Vorschaltung einer bepflanzten Bodenpassage können Fließgewässer im Einmündungsbereich von Seen gereinigt und stehende Gewässer so vor

Eutrophierung geschützt werden. Das Fließgewässer fließt dabei zum überwiegenden Teil im Bodenkörper, nicht mehr in offener Fließstrecke, dem Stillgewässer zu.

Pflanzenbeete sind nicht geeignet zur Reinigung gewerblicher und industrieller Abwässer, die einseitig zusammengesetzt oder hoch belastet sind und biologisch schwer oder nicht abbaubare Stoffe, wie z.B. Schwermetalle enthalten [2].

3.3.4.3. Langzeitverhalten

Abbauvorgänge in Pflanzenbeeten stellen komplexe natürliche Phänomene dar, die zum Teil zeitlichen Veränderungen unterliegen. Im einzelnen sind folgende Prozesse anzuführen:

- Die Mikroorganismenpopulationen bilden bzw. adaptieren sich entsprechend der Abwasserbeschickung und –zusammensetzung,
- Entwicklung des Pflanzenstandes durch Wachstum der oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteile,
- chemisch – physikalische Austauschvorgänge des frisch eingebauten Bodenmaterials mit den Abwasserinhaltsstoffen,
- Feststoffe akkumulieren im Boden,
- Mögliche Veränderung des Bodengefüges z.B. durch Setzung, Quellung und Erosion.

Die tatsächlich auftretende langfristige Veränderung der Reinigungsleistung bzw. der Ablaufwerte kann aufgrund der beschränkten Zahl von Pflanzenkläranlagen mit höherem Betriebsalter (> 15 Jahre) kaum beziffert werden. Bei vor allem in hydraulischer Hinsicht korrekt dimensionierten Anlagen waren bisher keine Tendenzen feststellbar, die eine verkürzte Lebensdauer von Pflanzenkläranlagen erwarten lassen. Eine Begrenzung der Lebensdauer (Zusammenbruch der Reinigungsleistung) aufgrund der Akkumulation von Abwasserinhaltsstoffen ist aus der Literatur nicht bekannt. Aufgrund der im Vergleich zur Oberfläche sehr extensiven Belastung ist ein solcher Vorgang auch nicht wahrscheinlich.

3.3.4.4. Reinigung der Pflanzenkläranlage

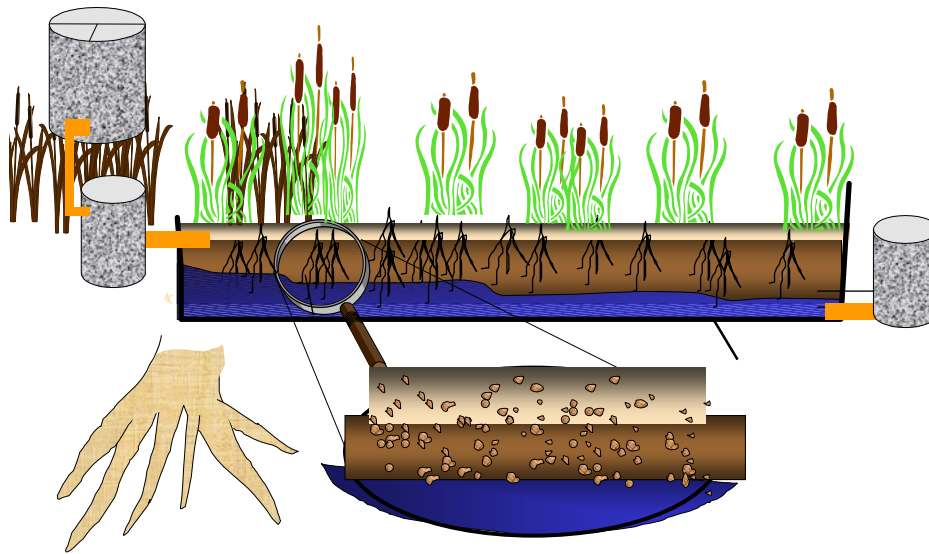


Abb. 4 : Querschnitt einer Pflanzenkläranlage

Die meisten Ergebnisse von Pflanzenkläranlagen liegen aus dem Bereich häuslicher und kommunaler Abwasserreinigung vor; aber auch von industrieller Seite wird diesem Verfahren Interesse entgegengebracht.

- Die Eliminationsleistungen von Wurzelraumverfahren (Abb. 4) werden für CSB von 310 – 505 mg O₂/l auf 41 – 53 mg O₂/l und für BSB₅ von 272-307 mg O₂/l auf 9-20 mg O₂/l angegeben.
- Andere Anlagen erreichten Reduktionswerte für CSB und BSB₅ zwischen 80% und 90% mit durchschnittlichen Auslaufkonzentrationen von 92 mg O₂/l (CSB) und 26 mg O₂/l (BSB₅).
- Bei industriellen Abwässern wurde ein CSB-Abbau von 1100 mg O₂/l auf 200 mg O₂/l festgestellt. Andere Anlagen reduzierten BSB₅ und CSB um 53-95%, wobei im Auslauf noch CSB-Gehalte von 105-605 mg O₂/l gemessen wurden [3] .

3.3.4.4.1. Abbau der organischen Belastung

Der Wirkungsgrad des BSB- und CSB-Abbaus ist abhängig von den Anlagentypen und der hydraulischen Belastung. Pflanzenkläranlagen mit intermittierender Beschickung

sind darin nicht dargestellt, liegen jedoch in ihrer Leistungsfähigkeit im Bereich der Variante „mehrstufige Becken“ und darüber.

Aus der Abbildung ergibt sich:

- Leistungsunterschiede der Varianten werden erst bei höherer Belastung deutlich.
- In nahezu allen Belastungsklassen übertreffen die Wirkungsgrade der Varianten mit überwiegend sandigem Bodenkörper die Werte der anderen Varianten. Insbesondere die Variante mit abgestuftem Kies- und Sandkörper zeichnet sich durch vergleichsweise hohe Wirkungsgrad auch bei höherer Belastung aus, was durch deren Mehrstufigkeit günstig beeinflusst wird.
- Für bewachsene Teiche nimmt bei zunehmender Belastung insbesondere der CSB-Wirkungsgrad stark ab.
- Anlagen mit bindigem oder (grob) kiesigem Bodenkörper besitzen bei gleicher Belastung einen niedrigeren Wirkungsgrad als Anlagen mit sandigem Bodenkörper. Dies trifft für die Variante kiesiger Bodenkörper insbesondere beim CSB zu.
- Aus den Einzelwertanalysen, die zugunsten der Übersichtlichkeit nicht dargestellt sind, ergibt sich, daß es bei jeder Variante Anlagen mit relativ hohem und Anlagen mit relativ niedrigem Wirkungsgrad gibt.

Erste Aussagen sind eine neue Bestätigung des alten SEIDELSCHEM Konzeptes der Mehrstufigkeit. Denn wie die Auswertung nach Typen und Konstruktionsweisen die leistungsfähigere Systemvariante offenbart, zeigt das relativ bessere Funktionieren einzelner Anlagen aller Varianten das tatsächliche Potential der Reinigung von Pflanzenkläranlagen. Es bestätigt die Qualität des Konzeptes der Abwasserreinigung mit Pflanzen [3](S.105).

3.3.4.4.2. Weitergehende Reinigung in Pflanzenkläranlage

In der Abwassertechnik wird die Elimination der gewässereutrophierenden Verbindungen des Stickstoffs und des Phosphors aus dem Abwasser als weitergehende Reinigung bezeichnet. Bisher sind zumeist nur bei größeren Pflanzenkläranlagen behördliche Auflagen zur Einhaltung von Stickstoff- und Phosphorablaufwerten ergangen. Es ist zu erwarten, daß in zunehmendem Maße verschärfte Bestimmungen Geltung erlangen werden. Vor allem aus Gründen des Gewässerschutzes ist eine weitergehende Reinigung immer anzustreben [3].

- Stickstoffelimination:

Neben dem biochemischen Um- und Abbauweg des Stickstoffes durch Mikroorganismen treten in Pflanzenkläranlagen zwei weitere Effekte zur Stickstoffelimination auf. Stickstoffverbindungen werden im Boden adsorbiert und durch die Pflanze resorbiert.

Ammonium, die Verbindung des Stickstoffes aus dem Eiweißabbau, wird im Boden adsorbiert. Sandige Böden binden so 10-20 g Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) pro m^3 und Jahr, tonige Böden bis zu 500g ($\text{NH}_4\text{-N}$) pro m^3 und Jahr. Weiterhin bilden sich hochmolekulare stickstoffhaltige Verbindungen d.h. Humusstoffe. Das Rückhaltevermögen ist in nichtbindigen Böden für Stickstoff auf 50g Stickstoff pro m^2 begrenzt. So hält der Boden 10% der mittleren Stickstoffzulaufmenge zurück. Den von Pflanzen in die Biomasse eingebaute Stickstoff berechnet sich zu 20 g Stickstoff pro m^2 Beckenoberfläche und Jahr oder 5% Elimination der Stickstofffracht.

Extensive Strategien zur weitergehenden Stickstoff-Elimination in Pflanzenkläranlagen zielen so darauf ab, die allmähliche Nitrifikation bei simultaner Denitrifikation durch Vergrößerung der einwohnerspezifischen Beckenfläche und damit einhergehender langer Aufenthaltszeiten zu fördern.

Intensive Strategien ergeben sich durch Einsatz eines anaerob betriebenen horizontal durchströmten bewachsenen Bodenfilters als Denitrifikationsstufe hinter einem nitrifizierenden vertikal durchflossenen bepflanzten Becken [3](S.105-107).

- Phosphorelimination

Phosphor kann nicht wie Kohlenstoff und Stickstoff das Pflanzenbecken gasförmig verlassen. Wie Stickstoff kann er im Boden festgehalten oder in die Biomasse der Pflanzen und anderer Organismen eingebaut werden. Die Elimination von Phosphor aus Abwässern durch den aberntbaren Teil der pflanzlichen Biomasse wird auf 3 bis 6 g Phosphor/ m^2 und Jahr geschätzt, und damit auf weniger als 3% der Jahresbelastung. Anders als bei den adsorptiven Prozessen, die zur Stickstofffestlegung im Boden führen, wechselt Phosphor je nach pH-Wert den Zustand zwischen löslichen Salzen und unlöslichen Mineralen. Er kann so innerhalb des Bodens einer Pflanzenkläranlage verlagert werden. Die mineralischen Endstufen der Phosphorfestlegung sind Calciumphosphat (Apatit) oder Eisen- bzw. Aluminiumphosphat (z. B. Stengit). Der Reaktionsweg zu diesen Endstufen ist fraglich, ob bei Pflanzenbeeten überhaupt erreicht werden. Je nach Gehalten und Zusammensetzung an Metalloxiden können, Böden sehr unterschiedliche Mengen

Phosphor (als Phosphat) binden. Der mittlere Gesamtphosphorgehalt der Böden liegt bei 200 bis 800 mg P/kg TS und bei Sandböden um 100 P/kg TS. In dieser Größenordnung findet sich Phosphor in Böden von Pflanzenkläranlagen.

Strategien zur weitergehenden Elimination von Phosphor stützen sich also auf die chemische Zusammensetzung der eingebauten Böden und auf eine gute Sauerstoffversorgung zur Unterstützung der mikrobiellen Phosphatfixierung. Die eingebauten Böden können basisch (Kalk) oder sauer (eisenhaltige Sande) sein. Der Bodenkörper hat ein begrenzendes Phosphatfestlegevermögen, was bei Auslegung der Anlage für eine bestimmte Betriebsdauer berücksichtigt werden muß [3](S.107-108).

- Keimzahlverminderung

Für die Ablaufwerte des Abwassers von mikrobiologischen Kläranlagen existieren keine hygienischen Vorgaben. Krankheitserreger werden ungehindert durchgeleitet, vermehren sich sogar im Abwasser und überleben zum Teil in Abwasser und Klärschlamm bis zu zwei Jahren.

In der Wasseranalytik wird der Gehalt der Darmbakterien (*Escherichia coli*) bestimmt, um Rückschlüsse auf die Verschmutzung mit Abwasser zu ziehen. Dabei haben Wasserpflanzen unterschiedliche Einwirkung lebender Wasserpflanzen (z. B. *Scirpus lacustris*) auf Bakterien besonders von *Escherichia coli*. Für die ATV haben die Pflanzen bei der Elimination der im Abwasser enthaltenen Bakterien und Viren einen untergeordneten Einfluß (ATV H 262).

Für die Hygiene ist vor allem wichtig, welche Keime eliminiert werden. Auch der unbewachsene Boden vermindert die Keimzahl. Es sind die Milieubindungen im unbewachsenen Bodenkörper (Pedosphäre) und im Wurzelraum (Rhizosphäre), die die Zusammensetzung der Mikroorganismen darin bestimmen. Mikroorganismen, die im Lebensraum (Biotop) des Bodenkörpers einer Pflanzenkläranlage bessere Lebensbedingungen vorfinden, verdrängen Arten, denen die Lebensbedingungen schlechter zusagen. Milieufremde Arten werden durch symbiotische Wechselwirkungen zurückgedrängt, andere Arten werden gefördert.

In Pflanzenkläranlagen läßt sich eine Reduktion der Gesamtkeimzahl um 2 bis 5 Zehnerpotenzen erreichen. Dabei ist die Abbauleistung weniger vom eingebrachten Substrat, als von der Verweilzeit im Substrat abhängig. Die Verminderung der coliformen Keime, von *Escherichia coli* und von Fäkastreptokokken beträgt 3 bis 4

Zehnerpotenzen. Eine deutliche Veränderung der Florazusammensetzung zugunsten von Gruppen, die für eine bessere Wasserqualität typisch sind, ist festzustellen [3] (S.109 -111).

- Abbau von Schadstoffen

Neben den biologisch abbaubaren organischen Verbindungen und den Pflanzennährstoffen finden sich im Abwasser eine Fülle weiterer Verbindungen, die schwer oder gar nicht biologisch abbaubar sind. Diese Schadstoffe lassen sich in Gruppen gleichen Stoffcharakters oder gleicher biochemischer Wirkung zusammenfassen. Grundsätzlich lassen sich die Schadstoffe in organische und anorganische unterscheiden.

In Pflanzenkläranlagen müssen die Schadstoffe einem mikrobiologischen Abbau zugänglich sein. Die Reaktion von Pflanzen auf die Belastung durch organische Schadstoffe ist qualitativ anders als die Reaktion auf die Belastung durch anorganische Schadstoffe.

Im ländlichen Bereich ist normalerweise mit Schadstoffen aus kommunalen Kläranlagen nicht zu rechnen [3](S.111-115).

3.3.4.5. Stand der behördlichen Genehmigungspraxis

Der Förderung der Abwasserreinigung in Pflanzenkläranlagen hat bislang mehr Schaden als Nutzen gebracht. Einerseits sprach man dem Verfahren wahre Wunderleistungen zu, andererseits wurden Pflanzenkläranlagen im allgemeinen auch von Behördenseite pauschal abgelehnt. Nach dem H 262 können Pflanzenkläranlagen grundsätzlich gebaut werden und zwar sowohl als biologische Nachbehandlungsstufe für Hauskläranlagen als auch bis zu einer Anschlußgröße „von wenigen hundert Einwohnern [4] .

- Länderebene

Die Zulassung von Pflanzenkläranlagen wird gegenwärtig auf Länderebene unterschiedlich gehandhabt. Festzustellen ist, daß Pflanzenkläranlagen als Kleinkläranlagen generell zugelassen werden. In Anlehnung an das Hinweisblatt H 262 werden Pflanzenkläranlagen der Größenordnung bis etwa 1.000 EGW nicht so

einfach genehmigt, obwohl in den meisten Bundesländern größere Anlagen prinzipiell als genehmigungsfähig gelten [4] .

- Gemeindeebene

Laut Wassergesetzgebung sind die Gemeinden zur Reinigung und Beseitigung des auf ihrem Gebiete anfallenden Abwassers verpflichtet. Meist werden in der Planung zentrale Lösungen bevorzugt,

Zunehmend können aufgrund unverhältnismäßig hoher Kosten und gleichzeitiger „Flaute in den Zuwendungstöpfen“ viele Planungen, in denen auch „der letzte Einödbauer“ noch an einen Kanal angeschlossen werden soll, nicht realisiert werden. So kommen für einzelne Wohnhäuser, Gehöfte, kleine Siedlungen, Ortsteile oder Ortschaften dezentrale, kleinere Lösungen der Abwasserreinigung in Frage.

Damit obliegt nun diesen die Aufgabe, das Abwasser auf ihrem Gelände zu sammeln und zu reinigen. Es sind jetzt Gemeinden gefordert, die ihre Abwasserbeseitigungskonzepte in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht überarbeiten wollen und dabei dem Einsatz naturnaher Abwasserreinigungsverfahren, wie den Pflanzenkläranlagen und Abwasserteichen, aber auch der Verregnung von vorbehandeltem Abwasser positiv gegenüberstehen. Inzwischen gibt es Gemeinden, die die Nachrüstung von Mehrkammergrube mit Pflanzenkläranlagen bezuschussen [4](S.80-84).

3.3.4.6. Kostenbetrachtung

In der Größe einer Kleinkläranlage (4 bis ca. 50 EW) liegen die geschätzten Baukosten in Deutschland für einen bewachsenen Bodenfilter (Vertikalfilter) einschl. Mehrkammergrube zur Vorreinigung in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen bei 700,- bis 2.500,- DM pro angeschlossenem Einwohner.

Die Investitionskosten für einen bewachsenen Bodenfilter als Ortskläranlage bewegen sich ohne Grundstückskosten etwa im Rahmen von 700,- bis 1.000,- DM/EW.

Horizontalfilter verursachen bis zu einer Anschlußgröße von 10 EW etwa die gleichen Baukosten, darüber hinaus werden sie aufgrund des größeren Flächenbedarfs wesentlich teurer [29].

4. Beispiel Pflanzenkläranlage Golzen / Krawinkel⁴⁵

Aus dem Antrag auf wasserrechtliche Einleiterlaubnis durch Untergrundversickerung des gereinigten Abwassers aus einer dezentralen Pflanzenkläranlage in Form eines bewachsenen Bodenfilters für die Gemeinde Golzen, Ortsteil Krawinkel.

4.1. Einzugsgebiet und Ziel des Vorhabens

Die Gemeinde Golzen besteht aus den Dörfern Golzen und Krawinkel und ist Mitglied im Abwasserzweckverband (AZV) Laucha - Forst Bad Bibra. Während der Ort Golzen bereits abwassermäßig erschlossen wurde, ist Krawinkel langfristig (20 Jahre) vom Anschlußzwang freigestellt. In der Abwasserzielplanung des AZV war der zukünftige Anschluß Krawinkels durch Verlegung einer Druckentwässerung von ca. 3,8 km Länge bis zum bestehenden Hauptsammler nach Laucha vorgesehen. Diese gedachte Leitungsverlegung führt streckenweise durch das höchst sensible Naturschutzgebiet NSG „Forst Bibra“.

Auf Grund bestehender Abwasserprobleme, die gravierende Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Einwohner von Krawinkel wie auch auf den Natur- und Gebietswasserhaushalt des unmittelbar angrenzenden Naturschutzgebietes haben, strebte die Gemeinde Golzen für den Ortsteil Krawinkel schon frühzeitig eine schnelle Lösung in Form eines dezentralen, an die örtliche Lage angepaßten, Abwasserkonzeptes an. Der AZV war bisher finanziell nicht in der Lage, dieses Konzept zu verwirklichen.

Wegen der besonderen naturräumlichen Lage bot sich die Gemeinde Golzen mit ihrem Ortsteil Krawinkel ideal für die Weiterführung des bereits im Hermannseck begonnenen, Modellprojektes an.

Im Rahmen des ersten Teilprojektes konnte mit Projektmitteln des Ministeriums für Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt die modell- und vorbildhafte Umsetzung eines dezentralen Wasserkreislaufs im Bereich des Naherholungsgebietes Hermannseck entwickelt werden. Die bauliche Umsetzung einer Pflanzenkläranlage vom Typ „Bewachsener Bodenfilter“, wie auch einer Regenwassernutzungsanlage zum Betrieb öffentlicher Toiletten erfolgte unter dem Aspekt gleichzeitiger Einbeziehung des

regionalen Garten- und Landschaftsbaus sowie der Beschäftigung langzeitarbeitsloser Personen. Erweitert wird der erfolgreiche Ansatz des ersten Teilprojektes um die Fragestellung einer direkten Einbeziehung ortsansässiger Bürger in die strukturelle wie später auch bauliche Entwicklung.

Diese Erfahrungen wurden in einem zweiten Schritt auf die Entwicklung und Umsetzung einer dezentralen kommunalen Kleinkläranlage für ca. 70 Einwohner übertragen werden.

Erstes Ziel des integrativen Konzeptes ist die Entwicklung einer weitergehenden Kosteneinsparung durch Eigenleistung, darüber hinaus allerdings auch die Entwicklung eines Organisationsmodells, das durch höhere Selbstverantwortung und damit verbundene Eigenkontrolle die Leistungsfähigkeit des Anlagenkonzeptes im Rahmen bestehender Verbandsstrukturen im Dauerbetrieb sichert.

Aus der Umsetzung des Konzeptes resultiert ein erheblicher Beitrag zur Sicherung der Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes, zur Verbesserung der regionalen Umweltqualität und zur allgemeinen Erhaltung der Kulturlandschaft im Naturpark „Saale-Unstrut-Triasland“. Für die Bevölkerung bedeutet das Projekt die Erhaltung und Verbesserung der Grundversorgung und Lebensqualität in ihrem ländlichen Umfeld.

Das Modellkonzept ist ein weiteres Beispiel im Sinne zusätzlicher Arbeits- und Erwerbsmöglichkeiten in ländlichen Raum. Besonders qualifiziert wird das Projekt über die Einbindung lokaler Umsetzungsfirmen z. B. aus dem Garten- und Landschaftsbau, wobei sich unter entsprechenden Rahmenbedingungen mittelfristig für diese Firmen ein zusätzliches Tätigkeitsfeld im Bereich der Erstellung dezentraler naturnaher Klärtechnik entwickeln kann.

4.2. Wirkung einer dezentralen naturnahen Abwasserentsorgung unter dem Aspekt des nachhaltigen Schutzes des Naturschutzgebietes „Forst Bibra“

Neben größeren naturnahen Waldkomplexen des Forstes Forst Bad Bibra ist das 505 ha große Naturschutzgebiet Standort wertvoller Trocken- und Halbtrockenrasen.

Größere Offenlandbereiche des Naturschutzgebietes werden von mesophilem Grünland besiedelt. Die Halbtrockenrasen im Schutzgebiet bedecken größere Flächen und sind ehemalige Schafdriften, die eine Reihe von Orchideen und andere seltenen Arten vorwiegend submediterraner und kontinentaler Verbreitung enthalten.

Die im Naturschutzgebiet integrierten Streuobstwiesen sind ein wichtiges landschaftsprägendes Element und tragen wesentlich zu ihrer Vielfalt, Eigenart und Schönheit bei. Streuobstwiesen bieten vor allem Insekten und Vögeln, die altes und totes Holz sowie warmes Klima benötigen einen Lebensraum. In den extensiv bewirtschafteten Obstwiesen haben sie eine Überlebenschance gefunden. Der mannigfaltigen Vegetationsdifferenzierung entspricht auch eine artenreiche und hoch schützenswerte Fauna.

Für einige Pflanzen und Tierarten stellt das Schutzgebiet das letzte Rückzugsgebiet in Sachsen-Anhalt bzw. eines der wenigen Rückzugsgebiete in der Bundesrepublik Deutschland dar.

4.3. Vorhaben

Die besondere Qualität des Gebietes und der daraus resultierende Schutzstatus forderte prinzipiell eine schnelle Lösung für das damalige, noch offene, Abwasserproblem. Der in der ursprünglichen Abwasserzielplanung vorgesehene Abwassertransport quer durch das Naturschutzgebiet konnte aus Gründen des damit verbundenen massiven Eingriffs in den Naturraum wie auch aus wirtschaftlichen Gründen so nicht akzeptiert werden. Die im Rahmen des Projektes erwogene dezentrale Lösung in Form eines „bewachsenen Bodenfilters“ bot die aus wasserwirtschaftlicher Sicht geforderte hohe Reinigungsleistung und paßte sich in seiner naturnahen Ausprägung optimal in das bestehende Landschaftsbild ein.

Wesentliches Kriterium für die Wahl einer Pflanzenklärstufe, und letztlich auch Förderkriterium für das Land Sachsen-Anhalt, stellt die mit dem Verfahren verbundene Möglichkeit einer weitgehenden Eigenleistung beteiligter Bürger in Entwicklung und Umsetzung des Anlagenkonzeptes mit seinem relativ einfachen technischen Aufbau dar.

Der gewählte Anlagentyp „bewachsener Bodenfilter“ hat in seiner Betriebsform für diesen Standort deutliche Vorteile gegenüber allen anderen bekannten Verfahrensvarianten. Er zeichnet sich auch bei kleinen Anschlußwerten durch eine hohe Betriebsstabilität aus. Insbesondere sind Anlagen dieses Typs wenig wartungsintensiv und ihr Betrieb ist mit niedrigsten Energie- und Personalkosten verbunden. Pflanzenkläranlagen erweisen sich als besonders unempfindlich im diskontinuierlichen Betrieb. Sie besitzen eine ausgesprochen hohe Pufferkapazität gegenüber schwankende Abwassermengen. Sogar längerer Beschickungspausen beeinflussen die Reinigungsleistung nur unerheblich soweit die Wasserversorgung der Pflanzen gesichert ist. Zeiträume geringer Abwasserbeschickung können durch die Möglichkeit die Anstauhöhe zu regulieren ausgeglichen werden. Auch kurzzeitiges Trockenfallen schadet dabei der Anlage nicht

4.4. Örtliche Gegebenheiten

Der Ortsteil Krawinkel grenzt an das Naturschutzgebiet Forst Bibra. Die Entfernung nach Laucha beträgt ca. 3,8 km. Eine Ortsentwässerung über eine Kanalisation zum Hauptsammler nach Laucha stieß, aufgrund der topographischen wie ökologischen Situation, auf schwerwiegende Hindernisse und wäre hier nur mit sehr hohem finanziellem Aufwand zu realisieren gewesen.

Mit der bereits umgesetzten Dorferneuerung sind alle Grundstücke und Haushalte des Ortsteils Krawinkel inzwischen an ein Trennsystem mit Zentralkanal angeschlossen worden. Die Ableitung der Niederschläge erfolgt z.T. über die Grundstücke oder über die offenen Straßenrinnen in ein vorhandenes Teichbiotop. Der neue Schmutzwasserkanal entwässert zum östlichen Ortausgang von Krawinkel und endet praktisch ebenfalls in Höhe dieses Teiches. Eine hydraulische Überlastung ist damit sicher ausgeschlossen.

Nach einer Ortsbesichtigung, unter Beteiligung der unteren Wasserbehörde sowie der unteren Naturschutzbehörde, standen bezüglich der örtlichen Anbindung einer neu zu errichtenden Abwasseranlage zwei Varianten zur Diskussion.

- Variante 1: Direkter Anschluß der Pflanzenkläranlage an den östlichen Ortsrand. Vorgesehen war dabei die Errichtung der Pflanzenkläranlage am Endpunkt der vorhandenen Kanalisation auf einer als Pferdekoppel genutzten Weidefläche, die sich z.T. im Besitz der Gemeinde Golzen befindet.

Das Gelände befindet sich noch im direkten Bereich des NSG „Forst Forst Bad Bibra“. Die Eingriffssituation am unmittelbaren Standort kann allerdings als gering bezeichnet werden, da diese Flächen aktuell als Pferdeweiden genutzt wurden. Ein deutlicher Vorteil für den Standort ergab sich aus der äußerst günstigen Lage im Hinblick auf den kostengünstigen Anschluß an die vorhandene Kanalisation. Die natürliche Gefällesituation des Geländes erlaubt den direkten Anschluß ohne besonders aufwendige technische Einrichtungen. Ein Vorflutgewässer zur Einleitung des gereinigten Abwassers ist nicht vorhanden. Die örtliche Situation begünstigte aber die Einrichtung der dadurch notwendig gewordenen Abwasserversickerung am Standort.

- Variante 2: Einrichtung der Pflanzenkläranlage am westlichen Ortseingang. Einzig positiv ist zu vermerken, daß dieser Standort außerhalb des NSG „Forst Bad Bibra“ liegt und damit keine naturschutzrechtlichen Belange betroffen sind.

Negativ schlägt die ungünstige Lage im Hinblick auf die vorhandene Kanalisation zu Buche. Da diese zum östlichen Ortsrand hin entwässert, hätten zunächst technische Voraussetzungen, z.B. in Form eines Pumpwerks mit Druckleitung, durch die gesamte Ortslage geschaffen werden müssen. Die Verlegung des 300m langen Druckrohrs hätte einen erheblichen Kostenfaktor bedeutet. Schwer wog auch die Tatsache, daß die Dorfstraße erst 1997 mit Mitteln der Dorferneuerung erneuert wurde und aus der bestehenden Fördersystematik heraus ein erneutes Aufbrechen die Rückzahlung bisher erhaltener Fördergelder zur Folge gehabt hätte.

Am westlichem Ortsausgang ist ebenfalls kein Vorflutgewässer vorhanden. Auch hier wäre eine örtliche Versickerung vorzusehen. Für diesen Standort von besonderer Relevanz ist die nach Aussagen der Einwohner sehr ungünstige hydrogeologische

Situation. Ebenfalls kritisch ist die Situation in den Wintermonaten, da im Bereich der Sickergrube mit mehreren Meter dicken Schneeverwehungen zu rechnen ist. Der gesicherte Betrieb der Pflanzenkläranlage wäre dadurch nicht gewährleistet gewesen. Im Rahmen des Vorplanungsverfahrens wurden Vor- und Nachteile beider Standorte gegeneinander abgewogen und gemeinsam mit den beteiligten Fachbehörden auf Genehmigungsfähigkeit überprüft.

- Aus Gründen der Betriebssicherheit und aus Kostengründen wurde von der AQUA PLAN GmbH, in Absprache mit den Behörden, die Variante 1 zur Grundlage nachfolgender Genehmigungsplanung gemacht.

4.5. Rechtliche Grundlagen der Planung

Neben den Vorgaben des WHG in der Fassung vom 12. September 1996, des AbwAG i.d.F.d.B. vom 21. März 1997 und des WG LSA i.d.F.d.B. vom 21.04 1998 finden vor allem auch die technischen Richtlinien der ATV A 262, ATV A438 und DIN 4261.

4.6. Allgemeine Bau- und Funktionsbeschreibung

Die mittlerweile gebaute vollbiologische naturnahe Abwasserreinigungsanlage für den Ortsteil Krawinkel besteht aus vier Aufbereitungsstufen.

- Abwassererfassung und Transport

Die Abwassererfassung erfolgt über die bereits im Rahmen der Dorferneuerung installierten Ortskanalisation (DN 250) unter Umgehung der alten Hausklär- und Sammelgruben. Die Grundstücksentwässerung wird strikt im Trennsystem betrieben. Das anfallende Regenwasser kann entweder auf den Grundstücken einer Brauchwassernutzung zugeführt oder bei gegebener Untergrundsituation örtlich versickert werden. Ansonsten wird es über den offenen Straßenkanal, dem ebenfalls am östlichen Ortsrand gelegenen Teichbiotop zugeleitet und schließlich über einen daran angrenzenden Graben oberflächlich versickert.

- Dreikammerabsetzgrube

Zur Sicherung des Anlagenbetriebes, speziell zur Verhinderung des Eintrages absetzbarer Stoffe, wurde der Pflanzenklärstufe eine Dreikammerabsetzgrube nach

DIN 4261, 1. Teil, vorgeschaltet. Die Absetzgrube wird auf ca. 0,3 m³ pro Einwohner dimensioniert. Nachgeschaltet ist ein Pumpenschacht mit einer darin integrierten Hebeanlage zur diskontinuierlichen Abwasserbeschickung. Als weitergehenden Schutz vor dem Eintrag von Schwebstoffen kann zwischen Dreikammergrube und Pumpenschacht die Einrichtung eines Filterschachtes mit integriertem Schwebstofffilter vorgesehen werden.

- Pflanzenklärstufe

Die eigentliche, vollbiologische Reinigung, des Abwassers erfolgt in der Pflanzenklärstufe. Sie wird auf insgesamt 70 EW ausgelegt und besteht aus zwei parallel geschalteten Pflanzenbeeten in Form bewachsener Bodenfilter mit insgesamt 178 m² Fläche. Daraus ergibt sich eine spezifische Filterfläche von ca. 2,5m²/ EW. Die Bodenfilter bestehen aus insgesamt 120cm dicken Filterkörpern aus nichtbindigem Substrat, bewachsen mit Schilfpflanzen. Der nichtbindige Filterkörper ist systematisch geschichtet und setzt sich aus unterschiedlichen Lagen von Filtermaterial verschiedener Körnung (Sand 0/4; Feinkies 2/8; Grobkies 16/32) zusammen.

Die Abbauprozesse, im Sinne mikrobiologischer Aktivität, finden in Form physikalischer, chemischer und biochemischer Prozesse, vor allem in der mittleren ca. 80 cm dicken Filterschicht aus 0/4 Sand, statt. Die Kornzusammensetzung und Kornbeschaffenheit sind maßgebend für die Funktionsfähigkeit der Bodenfilteranlage. Im konkreten Fall handelt es sich um einen gewaschenen, ungebrochenen Flußsand mit sehr geringen Feinanteilen.

Der genaue Filteraufbau kann der Tabelle 10 entnommen werden.

Tabelle 10 : Der Filteraufbau einer vertikalen Pflanzenkläranlage [45]

	[Höhe in Meter]	[Kubikmeter]	[gerundet]
Kies 4/8	0,1	2,96	3
Kies 8/16	0,15	4,44	4,5
Kies 4/8	0,05	1,48	1,5
Sand 0/4	0,7	20,73	20
Kies 4/8	0,05	1,48	1,5
Kies 8/16	0,15	4,44	4,5

Vor allem im wurzelnahen Bereich wird der Abbau organischer Substanz durch die starke Wechselwirkung zwischen Pflanzen und reinigungsaktiven Mikroorganismen gefördert.

Je nach Bedarf werden dem Bodenfilter verschiedene Zusatzstoffe, zur Erhöhung geforderter Reinigungsleistung, beigemischt. So gelangen z.B. zur adsorptiven Bindung von Phosphatverbindungen eisenhaltige Materialien und Substrate zur Anwendung.

Von besonderer Bedeutung ist der Filteraufbau auf der Beschickungsseite. Ein kritischer Punkt beim Betrieb von Pflanzenkläranlagen ist die mögliche Entwicklung eines dichten Biofilms im Bereich des stärksten Abbaus organischer Fracht. Die damit verbundene starke Biomassenentwicklung birgt die Gefahr der Kolmatierung d.h. der „Verbackung“ und damit hydraulischer Verdichtung der Filtergrenzschicht. Dieser Prozeß wird in der hier gewählten Anlagenform durch verschiedene Maßnahmen verhindert.

Im unmittelbaren Beschickungsbereich wird dieser Gefahr zunächst durch den Einbau unterschiedlich gekörnter Filterschichten und einem daraus entstehenden ca. 30 cm dicken Körnungsgradienten von grob nach fein entgegengewirkt.

Von besonderer Bedeutung ist hier auch der Schilfbewuchs, der in der Regel nach 3 Jahren voll entwickelt ist. Die Schilfpflanzen besitzen die Fähigkeit zur Ausbildung von Sekundärwurzeln, welche die Bodendecke durchwachsen und damit den Bodenfilter hydraulisch offen halten.

Auch die diskontinuierliche, intermittierende Beschickung mit Abwasser verhindert letztlich sicher die Gefahr der Kolmatierung. Sie führt immer wieder zu einem relativ schnellen Abtrocknen und damit zum Aufbrechen des Biofilms an der Filteroberfläche.

Die Beschickung der Anlage mit Abwasser erfolgt über ein im Zulaufschacht installiertes Zweipumpensystem. Über diese Pumpen wird das Abwasser über unterirdisch verlegte Beschickungsrohre gleichmäßig auf der gesamten Anlage verteilt. Die hydraulische Belastung beträgt im Durchschnitt 30mm pro Tag.

Anschließend durchläuft das Abwasser, der Schwerkraft folgend, den Filterkörper in vertikaler Richtung.

Dem Pflanzenbeet bzw. Filterkörper vor- und nachgeschaltet ist jeweils ein Zulauf- (NW 2000) und ein Ablaufschacht (NW 2000). Sie erlauben die Reinigung der Zuleitungs- und Verteilerrohre wie auch der Ablaufdrainage. Ein im Ablaufschacht verlegtes höhenverstellbares Ablaufrohr ermöglicht im Bedarfsfall einen geregelten Aufstau des Abwassers innerhalb des Bodenfilters.

Das gereinigte Abwasser wird in einer Sammeldränleitung erfaßt und dem Ablaufschacht zugeleitet. Prinzipiell wird im Anlagenkonzept die Möglichkeit einer späteren Abwasserrückführung in den Bereich der anaeroben Dreikammergrube vorgesehen. Die Abwasserrückführung erhöht deutlich die Anlagenleistungsfähigkeit im Bereich des Stickstoffabbaus durch Nitrifikation und Denitrifikation.

Die Verrohrung des Beschickungssystems sowie der Dränleitungen, werden mit ihren Enden aus dem Bodenfilter herausgeführt. Sie dienen der Revision der Beschickungs- und Ableitungsrohre. Die offene Dränleitung trägt darüberhinaus zur Belüftung des tiefliegenden Drainagebereichs bei.

Die gesamte Pflanzenklärstufe wird gegen den Untergrund abgedichtet und damit eine unkontrollierte Versickerung von Abwasser sicher verhindert. Die Abdichtung besteht aus einer 1mm PVC-Folie (DIN 16938) und einem die Folie schützenden Geovlies (250gr/m²)

- **Untergrundversickerung**

Durch die Gemeinde Golzen wurde ein Gutachten zur Versickerungsfähigkeit am Standort in Auftrag gegeben. Das Gutachten bestätigt die Versickerungsfähigkeit des Standortuntergrundes.

Es wird eine kombinierte Mulden- und Rigolenversickerung auf Grundlage ATV 138 Versickerung von nicht schädlich verunreinigten Niederschlagswasser vorgeschlagen.

Basierend auf diese Berechnungsgrundlage und einem Fremdwasserzuschlag von 20% ergibt sich für die Versickerungskulisse ein Flächenbedarf von ca. 70 m². Der Gutachter empfiehlt sieben Sickerstränge zu je 10 m.

Die aktuelle Planung sieht die Einrichtung der Versickerungskulisse hangabwärts unterhalb der Pflanzenbeete vor, so daß die Versickerungsstränge im freien Gefälle beschickt werden können. Da auch bei der Abwasserversickerung die Stoßbeschickung zu besseren Ergebnissen führt, wird der Einsatz eines physikalischen Hebers empfohlen. Es ist davon auszugehen, daß bei der Bodenpassage die geringen Restmengen an organischer Fracht und Nährstoffen weitgehend metabolisiert werden. Eine Gefährdung des Grundwassers ist daher nach bisheriger Erfahrung als gering einzuschätzen. Darüber hinaus ist zu bedenken, daß der Eintrag von Nährstoffen, insbesondere Stickstoffverbindungen, aus den unmittelbar an den Standort grenzenden intensiv genutzten Agrarflächen erheblich größer sein dürfte.

Bisherige Untersuchungen belegen eine i.d.R. sehr gute hygienische Beschaffenheit des gereinigten Abwassers aus Bodenfilteranlagen. Unter der Voraussetzung der Dokumentation entsprechender Reinigungsleistung könnten daher in entsprechenden Trockenzeiten definierte Mengen an gereinigtem Abwasser bedenkenlos einem oberhalb gelegenen dortig zugeführt werde.

4.7. Besondere Aspekte des Kläranlagenbetriebes

- Geruchsbildung

Beim Betrieb von Pflanzenkläranlagen tritt Abwasser in der Regel nur bei der unmittelbaren Beschickung offen zu Tage. Nur in dieser Phase kann es zur Geruchsentwicklung kommen und dies nur bei Anlagen, bei denen die Beschickungsrohre offen über den Filterbeeten angeordnet sind. Da sich die Beschickung der Anlage bei der hier gewählten Betriebsform auf ein- bis zweimal pro Tag reduziert, wäre bei offener Beschickungsform mit einer nur wenige Minuten dauernden Geruchsbelästigung zu rechnen. In dem hier gewählten Baukonzept wird auch dies auf ein Minimum reduziert, indem die Beschickungsrohre unterirdisch in eine Kiespackung verlegt wurden. Praktische Erfahrungen mit dieser Bauform belegen, daß, insbesondere nach Entwicklung des Pflanzenbewuchses, keinerlei Geruchsbelästigung von der Pflanzenbeetstufe ausgehen.

- Winterfestigkeit

Verschiedene Faktoren verhindern auch bei niedrigen Temperaturen ein Einfrieren. Der Filter liegt mit einer Gesamtdicke von ca. 120 cm deutlich unter der üblichen Frostgrenze von 80cm. Die Dimensionierung der Absetzgrube bewirkt, daß ein relativ „frisches“ und damit warmes Abwasser der Kläranlage zugeleitet wird. Nach voller Entwicklung des Pflanzenbestandes wirkt die sich auf dem Pflanzenbeet ausbildende Streuschicht als Wärmeisolierung. Insbesondere im ersten Betriebsjahr kann dieser Effekt durch Aufbringen einer künstlichen Streuschicht, z.B. Stroh, nachvollzogen werden.

4.8. Dimensionierung der Anlage

Zur Entsorgung des Ortsteils Krawinkel wurden 70 EGW veranschlagt. Die Vorklärung erfolgt in einer 21 m³ großen Dreikammer-Absetzgrube und über einen Filtersack. Die Pflanzenklärstufe erhielt eine wirksame Fläche von 178 m² und besitzt somit eine spezifische Fläche von ca. 2,5 m² pro Einwohnergleichwert. Dies entspricht der in der Richtlinie ATV A 262 festgeschriebenen Mindestgröße.

Die bautechnische Ausführung in Form eines Vertikalfilters verhindert Kurzschlußströmungen in der Anlage und sichert damit die, von wasserwirtschaftlicher Seite, geforderte Reinigungsleistung. Der anstehende Boden wird zur Einstellung notwendiger hydraulischer Bedingungen durch nichtbindiges Bodenmaterial ($K_f=10^{-4}$ m/s) ersetzt. Die Zusammensetzung des Bodenkörpers aus Sand, Feinkies und Kies wird so gewählt, daß auch nach längerer Betriebszeit ein K_f -Wert von 10^{-5} nicht unterschritten wird. Die Ermittlung des K_f -Wertes erfolgt entsprechend der in der ATV A 262 vorgegebenen Berechnungsformel k_f in m/s = $Q / (A_f \cdot I)$. Wobei A_f : Einsickerungsfläche = Breite * Höhe
 I : Das Gefälle im Beet

Zur Erhöhung der Reinigungsleistung wurden für die Fraktionen des Fein- und Grobkieses Lavastein und mineralische Zuschlagstoffe gewählt, die für die Einstellung von günstigen Bedingungen für die Mikroorganismen sorgen. Die Bepflanzung erfolgte mit ca. 4 Pflanzen pro Quadratmeter.

4.9. Reinigungsleistung der Anlage

Die hier beschriebene Anlage ist nach §7 WHG als Kleine Kläranlage mit einem Zufluß rein häuslichen Abwassers > 8 m³/d einzustufen. Bei der Auslegung der Reinigungsleistung dieser Anlage orientierten wir uns an den durch die AbV vom 21.03.1997 festgelegten Mindestanforderungen für Abwasserreinigungsanlagen der Größenklasse 1 (< 60 kg/d Rohabwasser, bis 1000 EWG) mit folgenden Werten:

BSB ₅	≤ 40 mg/l
CSB	≤ 150 mg/l
Nges.	keine Vorgaben

Mit den gewählten Bemessungsansätzen könnten bei der Pflanzenkläranlage die oben genannte Ablaufwerte eingehalten werden.

In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen verbraucht der Pflanzenbestand während der Vegetationsperiode einen Teil des Wassers durch Transpiration. Die Verdunstung des Sumpfpflanzenbeetes kann bis zu 1000 mm/Jahr betragen. Die maximale Verdunstung liegt dabei während dieser Zeit bei bis zu 40 mm/d, wodurch die Anlage zeitweise nur über einen stark reduzierten Abfluß verfügt.

4.10. Hydraulik

Berechnung des maximalen Durchflußstromes:

Zur Berechnung der hydraulischen Bedingungen der bereits gebauten Pflanzenkläranlage in Krawinkel wurde zunächst der maximale Durchflußstrom des Abwassers in dem System bestimmt. Dazu wurde das Filtergesetz von Darcy angewendet:

$$Q = A \cdot k_f \cdot \Delta h / L$$

Q= Volumenstrom in m³/s

A= Einrieselungsfläche in m²

Kf= Durchlässigkeitsbeiwert des gewählten Filtersandes in m/s

Δh= Differenz von Zu- und Ablaufwasserspiegel in m = H Filterhöhe

L= durchströmte Filterlänge in m

Angaben zur Dimension der Beete:

B= Breite = 6,7 m

L= Länge = 26,6 m

H= Filterhöhe = 1m

A= 178 m²

Kf= (hier ist gewaschener Sand 0/4) = ca. $6,25 \cdot 10^{-4}$ m/s

$\Delta h = 1$ m

$$Q = 178 \text{ m}^2 / 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \cdot 1,1 \text{ m} = 0,11 \text{ m}^3/\text{s}$$

Der mathematische Ansatz beruht auf theoretische Grundlagen und kann nur der Orientierung dienen. Konkrete Angaben zum optimalen kf-Wert sind nach Maßgabe ATV A 262 zu erstellen. Unter Berücksichtigung des durchschnittl. Wasserverbrauchs von 150 l/EW*d fallen bei der hier gewählten Anschlußgröße von 70 EW ca. 10500 l Abwasser pro Tag an.

Berechnung der Aufenthaltszeiten bei Parallelbetrieb:

$$t = V_n / Q = L \cdot B \cdot H \cdot n_0 / Q \text{ in d}$$

t= Aufenthaltszeit in d bzw. h

V_n= nutzbares Porenvolumen

n₀= nutzbarer Porenanteil =25%

Q= Volumenstrom in m³/d

Δh = Differenz von Zu- und Ablaufwasserspiegel in m = H Filterhöhe

B= Breite = 6,7 m

L= Länge = 26,6 m

V_n= 178 m³ * 0,25 = 44,5 m³

t= 44,5 m³ / 10,5 m³/d = 4,23 d

Bei entsprechender Abwassermenge ergab sich eine theoretische Aufenthaltszeit von 4,2 Tagen.

4.11. **Betrieb der Anlage**

Nach der Anpflanzung wurde das Wasser zunächst in der Anlage nach Bedarf (Temperatur, Niederschläge) angestaut, um ein sicheres Anwachsen der Schilfpflanzen zu gewährleisten. Nach voller Entwicklung des Pflanzenbestandes sind in der Regel Pflegemaßnahmen aufgrund der hohen Konkurrenzkraft des Schilfes nicht notwendig.

Der Ansatz, eine Nährstoffreduzierung über das Ernten des Pflanzenbestandes zu erreichen, hat sich angesichts der doch relativ geringen Speicherkapazitäten der pflanzlichen Biomasse als wenig wirksam erwiesen. Die Schilfpflanzen werden gegen Ende der Vegetationsperiode demnach nicht geschnitten, sondern bleiben als Winterabdeckung und natürlicher Frostschutz auf der Anlage.

Ca. alle 5 Jahre ist ein Schnitt und das Abernten der Schilfpflanzen vorgesehen, um den Pflanzenbestand in seinem Wachstum zu stärken.

Der teilmineralisierte Schlamm sollte je nach Bedarf halbjährlich bis jährlich aus der Dreikammergrube abgepumpt und einer geordneten Behandlung zugeführt werden. Eine entsprechende Kontrolle der Schlammzunahme sollte in den ersten drei Betriebsjahren in etwa dreimonatigem Abstand erfolgen. Untersuchungen haben gezeigt, daß das Abpumpen des gesamten Grubeninhalts und das damit verbundene „Neueinfahren“ der Grube das Abbauverhalten der Pflanzenklärstufe negativ beeinflusst. Aus diesem Grunde sollte sich die Wartung der Grube auf das Abpumpen des angefallenen Überschussschlammes reduzieren und der flüssige Überstand in der Grube verbleiben. Zu einem späteren Zeitpunkt und mit entsprechender Betriebserfahrung kann die Entleerung der Grube nach konkreter Bestimmung des Schlammvolumens erfolgen.

In der Kläranlage selbst fällt kein Abwasserschamm an.

4.12. Betriebs- und Pflegeanleitung

Den Anlagebetreibern wird eine ausführliche Betriebs- und Pflegeanleitung an die Hand gegeben. Diese enthält z. B. eine Auflistung von Problemstoffen, deren Einleitung im Betrieb vermieden werden sollte. Entsprechende Hinweise sollten auch an die Einwohner weiter gegeben werden. Hinweise zur Wasserstandsregulierung sowie zur Durchführung der Eigenkontrollen und die Erläuterung des Betriebstagebuchs sind ebenfalls der Betriebs- und Pflegeanleitung zu entnehmen.

4.13. Wartung

Die Wartung der Anlage wird von dem Anlagebetreiber nicht selbst durchgeführt. Es sollte ein Wartungsvertrag gemäß ATV H 282 mit einem fachkundigen Unternehmen z.B. des Garten- und Landschaftsbaus abgeschlossen werden.

5. Wassersituation in Entwicklungsländern

5.1. Definitionen

- Aride Gebiete

Als arid wurde ein Klima definiert, wenn es 5 oder mehr trockene Monate aufweist und es sich etwa zwischen dem 15 und 30 Grad nördlicher und südlicher Breite erstreckt. Ein trockener Monat nach Papadakis liegt dann vor, wenn Niederschlag plus gespeichertes Bodenwasser $< \frac{1}{2} * \text{Evapotranspiration}$ ist.

- Semiaride Gebiete

Die semiariden Gebiete sind die Übergangsbereiche von feucht zu trockenheißen Zonen. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt 500-1250 mm. Während der Trockenzeit gibt es wenig oder keine Niederschläge, während der Regenzeit sind sie örtlich sehr verschieden.

Landschaft: Busch, Steppe und Grasland [15] [21].

- Entwicklungsländer

Als Entwicklungsländer werden diejenigen Länder betrachtet, die laut Weltbank in die Gruppe der "Länder mit niedrigem Einkommen" (BSP pro Kopf im Jahr 1989 580 US\$ und weniger) und in die Gruppe der „Länder mit mittlerem Einkommen“ (BSP pro Kopf 1989 mehr als 580 US\$, aber weniger als 6000 US\$) fallen [5].

- Wassermangel

Wassermangel bedeutet, daß die erneuerbaren Süßwasserressourcen eines Landes pro Kopf der Bevölkerung und Jahr 1.000 m³ und weniger betragen.

5.2. Wassermangel

In den Entwicklungsländern haben ca. 1 Mrd. Menschen keinen Zugang zu ausreichendem und hygienisch unbedenklichem Trinkwasser, 850 Millionen davon leben in ländlichen Regionen. Rund 1,7 Mrd. Menschen fehlt es an angemessenen sanitären Einrichtungen. Durch den enormen Bevölkerungsanstieg wird die Mangelsituation zusätzlich noch verschärft.

Nach vorsichtigen Schätzungen wird bis zum Jahr 2025 die Zahl der Menschen, die in Ländern mit Wassermangel leben, von zur Zeit rd. 130 Millionen auf schätzungsweise 820 bis 1.080 Millionen gestiegen sein [5]. Die Mehrzahl dieser Menschen lebt im Nahen Osten, in Nordafrika, der Subsahara und in Westasien.

Mehr als 20 Staaten des Nahen Ostens und Nordafrikas sind z. Zt. in einer kritischen Phase. Elf davon nutzen mehr als die Hälfte ihrer Wasserressourcen. Libyen und die Länder der arabischen Halbinsel, bis auf den Oman, sind derzeit auf 100% ihrer Wasserressourcen angewiesen. Da die Länder keine weiteren Ressourcen mehr aufweisen, müssen teure Meerwasserentsalzungsanlagen eingesetzt oder nicht mehr zu ergänzendes Grundwasserreservoirs abgepumpt werden. In Syrien z. B. hat die Bewässerung der Küstenfelder mit Grundwasser zu deren Versalzung geführt.

Eine ineffiziente Wassernutzung wird eine katastrophale Entwicklung fördern und beschleunigen, die sich auf die gesamte Region sehr negativ auswirkt. Eine weitreichende Untersuchung zeigt, daß die Situation im Jahr 2025 wie folgend sein wird:

- Der Libanon wird eines der 15 Länder weltweit sein, welches unter Wasserstreß leiden wird.
- In 9 Ländern, darunter Ägypten, Marokko und Syrien wird es Probleme durch den Wassermangel geben.
- Algerien, Bahrain, Djibuti, Jordanien, Kuwait, Libyen, Oman, Katar, Saudi-Arabien, Somalia, Tunesien, Vereinigte arabische Emirate und Jemen werden unter den 22 Ländern sein, die die nötige Wasserbarriere erreichen.

In Katar z. B. ist Wassermangel das Hauptproblem des Landes. Da Oberflächenwasser nicht vorhanden ist, muß die Landwirtschaft komplett auf Grundwasser zurückgreifen. Wenn das Problem in naher Zukunft nicht beseitigt wird, wird es nach Schätzung der Experten in den kommenden 20 bis 30 Jahren aufgebraucht sein.

Tabelle 11 : Verteilung des Wasserbedarfes, Naher Osten und Nordafrika 1995 [58]

	Haushalte	Industrie	Landwirtschaft
Marokko	6	3	32
Algerien	22	4	74
Tunesien	13	7	80
Libyen	15	10	75
Ägypten	7	5	88
Sudan	1	-	99
Djibuti	28	21	51
Somalia	3	-	97
Saudi-Arabien	45	8	47
Jemen	5	2	93
Oman	3	3	94
UAE	11	9	80
Kuwait	64	32	4
Irak	3	5	92
Jordanien	29	6	65
Syrien	7	10	83
Libanon	11	4	85
Türkei	24	19	57
Weltdurchschnitt	8	23	69

Anhand der o. a. Tabelle läßt sich die Region wie folgt charakterisieren:

Die Landwirtschaft ist der größte Wasserverbraucher, da fast der gesamte Teil des kultivierten Landes künstlich bewässert werden muß. Nur vier Länder liegen unterhalb des Weltdurchschnittes, fünf Länder verbrauchen dafür über 90% ihrer Wasserressourcen. Die Industrie verbraucht nur einen kleinen Teil , nur zwei Länder liegen über dem Weltdurchschnitt. Was die Haushalte betrifft, so sind die Werte sehr unterschiedlich, in vier Ländern sind sie äußerst gering [55] [61].

Am Wasserverbrauch der verschiedenen Staaten kann man die derzeitige Wohlstandslage und die Unterschiede in den Ökonomien ablesen.

5.3. **Wasserverschmutzung**

Zum Wassermangel kommt das Problem der Wasserverschmutzung und ihre Auswirkung auf Gesundheit und Hygiene der Menschen noch hinzu und bildet das eigentliche Hauptproblem.

In Ägypten ist wegen des Wassermangels weniger als 3% des Landes bebaut. Das vorhandene Wasser des Nils ist durch Verschmutzung überlastet, denn sowohl das Industrieabwasser als auch kommunales Abwasser wird mit unzureichender oder gar keiner Behandlung in das Gewässer entsorgt. Der Nil ist aber gleichzeitig die wichtigste Ressource zur landwirtschaftlichen Bewässerung.

Ebenfalls in Syrien haben die ungenügenden Abwasserbehandlungssysteme und die Zunahme der unbehandelten Industrieabwasserentsorgung den Eufrat, den Orontes und das Baradabecken zerstört [6] .

5.4. **Krankheiten**

Die Wasserressourcen sind in der Regel regional ungleich verteilt. Das elementare menschliche Grundbedürfnis einer Versorgung mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser kann schon deshalb nicht immer gewährleistet werden. Zusätzlich wird die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers durch Übernutzung der Ressourcen und durch unzureichende Entsorgungseinrichtungen für Abwässer aller Art in erheblichem Maße gefährdet. Herauszuheben sind menschliche und tierische Abfälle und Fäkalien (Haushalt), Schwermetalle und halogenierte Kohlenwasserstoffe (Gewerbe), Düngemittel und Schädlingsbekämpfungsmittel (Landwirtschaft). Nicht angepaßte Bodennutzung beinhaltet ebenfalls das Risiko einer Gefährdung.

Die Auswirkung auf die Gesundheit der Betroffenen sind alarmierend. Unzureichende Wasserverfügbarkeit und -qualität, das Fehlen von Sanitäreinrichtungen und Hygienebewußtsein sind die Ursachen für den Tod von schätzungsweise 3 Mio. Kindern pro Jahr als Folge von Durchfallerkrankungen, 200 Mio. Menschen leiden an Schistosomiose oder Bilharziose, 900 Mio. Menschen leiden an gesundheitlichen Auszehrungen durch Wurmbefall. Besonders betroffen sind die untersten Einkommensschichten, die ihren Trinkwasserbedarf meist direkt aus verschmutztem Oberflächenwasser und unsachgemäß genutzten Brunnen decken.

Nach Schätzungen der WHO sind 80% aller Krankheiten in den Entwicklungsländern wasserbezogen. Alle acht Sekunden stirbt ein Kind durch Wasserverschmutzung. Es wird geschätzt, daß rund die Hälfte der Bevölkerung in den Entwicklungsländern an einer wasserbedingten Krankheit leidet. Das ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß weltweit insgesamt nur 5% der Abwässer gereinigt werden. Doch trotz erheblicher Anstrengungen auf dem Gebiet der Wasserversorgung und Abwasserreinigung leben noch heute rund zwei Milliarden Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser und ausreichender Sanitärversorgung [5] [6] .

5.5. **Sozioökonomie**

Der Umgang mit Wasser und die Art der Wassernutzung hängt jedoch nicht nur von den natürlichen und wirtschaftlichen Bedingungen ab, sondern auch von Gewohnheiten und den vielfältigen sozialen Einflüssen einer Gesellschaft.

Im ländlichen Raum arabischer Länder muß infolge des Fehlens administrativer Strukturen beim Bau von Einrichtungen, die das Wasser betreffen, auf Struktur und Einfluß der beduinischen Bevölkerung, die in Stämmen organisiert ist, Rücksicht genommen werden, denn Wasser- und Landrechte befinden sich traditionell in deren Besitz.

5.6. **Interessenkonflikte**

Die Versorgung mit Süßwasser wird zu einem Problem für das Überleben großer Teile der Menschheit. Besonders in Nordafrika und im Nahen und Mittleren Osten müssen Menschen aufgrund des steigenden Wasserverbrauches mit immer weniger Wasser auskommen. Es liegt auf der Hand, daß es zu Interessenkonflikten bei der Wassernutzung kommen muß. Diese Konflikte können sich zwischen einzelnen Menschen abspielen, die das Wasser entweder zum Trinken, für die Tierversorgung, für die Industrie oder für die Bewässerung benötigen. Die Konflikte können sich aber auch auf die regionale und zwischenstaatliche Ebene verlagern, insbesondere bei grenzüberschreitendem Flußverlauf.

Die Türkei lenkte unlängst bis zu zwei Drittel des Eufrat- und Tigriswassers in den neuen Atatürk-Staudamm um, so daß sich der Zulauf für Syrien und den Irak

entgegen binationaler Verträge verringerte. Insgesamt werden für die Unterliegerstaaten beträchtliche Auswirkungen durch diesen Damm erwartet. Die Türkei sicherte ihre Position im Vorfeld noch durch ein neues Militärbündnis mit Israel ab.

Auch die Kurdenfrage muß vor dem Hintergrund gesehen werden, daß ein autonomer Kurdenstaat die Eufrat- und Tigrisquellen auf seinem Staatsgebiet kontrollieren würde.

5.7. Now-how-Mangel

Geldmangel, schlecht ausgebildetes Personal und schlechte Wartung der Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen gehören zu den häufigsten Problemen der Entwicklungsländer. Nach WHO-Schätzung sind 40-60% aller Einrichtungen in ländlichen Regionen aus diesen Gründen nicht betriebsfähig oder können nicht repariert werden. Zusätzliche Wasservorkommen werden nicht erschlossen [5] .

5.8. Vorsorgungsprioritäten

Die Entwicklungsländer können ihre Wasserprobleme nur mit ausländischer Hilfe lösen. Die Geberländer engagieren sich angesichts der Umwelt- und Infrastrukturprobleme und deren Auswirkungen auf die Wasserressourcen verstärkt in den Ballungsgebieten im Bereich der städtischen Ver- und Entsorgung. Hierzu gehört einerseits die sichere und ausreichende Versorgung der Menschen mit Trinkwasser, andererseits die Sammlung und Reinigung des anfallenden Abwassers.

Städtische Versorgungsgebiete haben im Bereich Ver- und Entsorgung auf Seiten der Entwicklungsländer traditionell höhere Priorität als ländliche Gebiete. Dies ist vielfach historisch und politisch begründet und entspricht der wirtschaftlichen Bedeutung städtischer Zentren, sie erwirtschaften im Durchschnitt 60% des BSP.

Auch von Seiten der Geber ist historisch aufgrund der Übertragbarkeit technischer Konzepte und Standards eher Zugang für städtische Ver- und Entsorgungsprobleme vorhanden. Geringe Priorität genießt in der Praxis immer noch - auch mangels adäquater Konzepte - die Bevölkerung kleiner ländlicher Orte und die zerstreut lebende ländliche Bevölkerung (Abb.5).

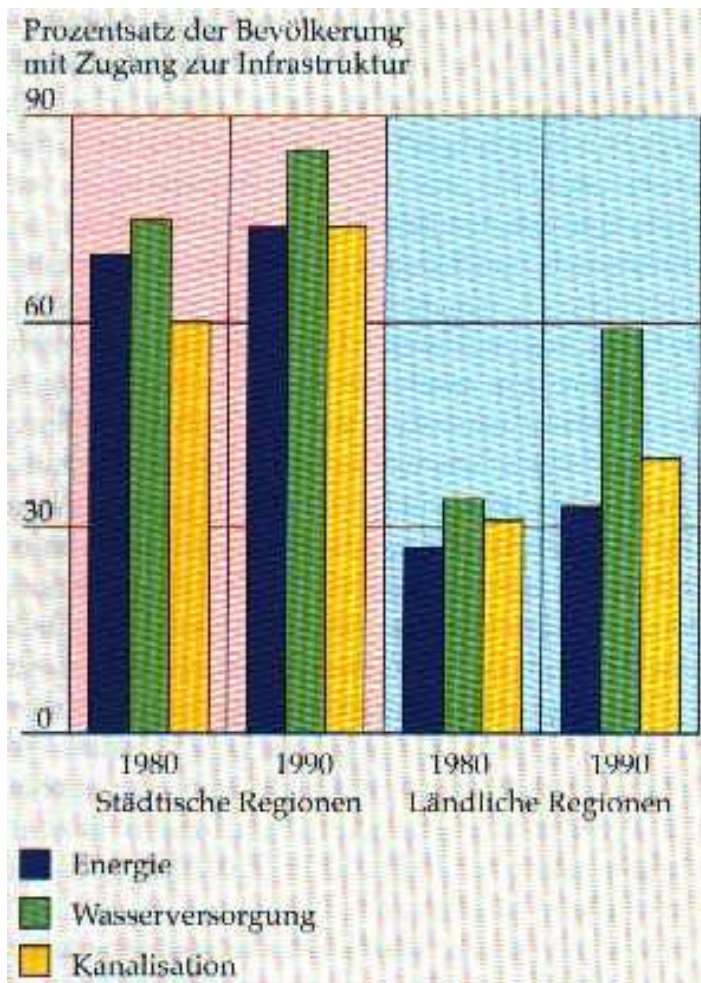


Abb. 5: Bevölkerungszugang zur Infrastruktur [7] (S. 34)

Deshalb hat im ländlichen Raum die Sicherung einer angemessenen Trinkwasserver- und Entsorgung für die Bevölkerung der Entwicklungsländer auch weiterhin höchste Priorität. Anhaltend hohes Bevölkerungswachstum einerseits und lokale Wasserverknappung und rapide Verschlechterung der Wasserqualität andererseits tragen dazu bei, daß dieses Ziel auch in Zukunft eine große Herausforderung darstellen wird [5].

6. Übertragbarkeit nach Syrien

6.1. Daten und Fakten

6.1.1. Klima

Syrien (Abb.6) hat mediterranes Klima mit kontinentalem Einfluß, d.h. kalte regnerische Winter und heiße trockene Sommer. Frühling und Herbst sind sehr kurz. Große Teile Syriens sind hohen täglichen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Die maximale Differenz der Tagestemperatur kann in den zentralen Wüstengebieten bis zu 32°, in der Küstenregion bis zu 13° betragen.

Jährliche Niederschläge reichen von 100 - 150 mm im Nordwesten, 150 - 200 mm im Süden und in den zentralen Gebieten einschl. des Ostens, 300 - 600 mm in den westlichen Gebieten und am Fuße der Gebirge, 800 - 1000 mm im Küstenstreifen und bis zu 1400 mm in den Bergregionen. Der durchschnittliche jährliche Niederschlag beträgt 252 mm, d. h. 46.6 km³ [49] [51] [59] .

Tabelle 12 :Die Verteilung des Niederschlags in Syrien 1997 [51](S.52).

Pegel	Regentage					Niederschlag mm						
	Sandsturm	Gewitter	Hagel	Schnee	Regen	max./Monat		Max. / 24 Std.			%	Total /a
						Monat	Total	Monat	Tag	Total		
Damaskus	1	10	0	3	54	1	40,2	1	16	26,3	100	137,4
Homs	0	16	1	9	69	1	110,9	4	2	65,0	121	528,4
Palmyra	1	13	0	4	57	11	51,8	11	29	23,1	162	215,0
Hama	0	12	0	4	79	12	72,5	12	30	22,7	97	331,4
Lattakia	0	38	2	1	84	12	142,1	11	3	59,2	73	590,3
Aleppo	1	19	0	3	77	4	93,7	4	2	40,7	110	365,5
Deir Ez Zor	2	9	1	0	48	2	49,5	2	25	28,0	105	171,8
Al Qamishle	1	6	3	4	6	12	96,7	12	30	34,6	76	342,8

Tabelle 13 :Der jährliche Niederschlag in mm 1993 – 1997 [51](S.51).

Pegel	1997	1996	1995	1994	1993
Damaskus	137,4	149,4	58,7	229,6	125,3
Homs	528,4	443,0	330,0	367,0	286,0
Palmyra	215,0	124,8	57,5	187,8	159,7
Hama	331,4	354,9	247,5	451,8	290,8
Lattakia	590,3	908,2	527,3	1090,8	441,3
Aleppo	365,5	426,0	259,1	401,4	249,4
Deir Ez Zor	171,8	244,5	67,9	185,4	272,4
Al Qamishle	342,8	667,9	303,7	622,0	429,4

Tabelle 14 :Der jährliche Temperaturdurchschnitt in °C 1993 – 1997 [51](S.50).

Pegel	1997	1996	1995	1994	1993
Damaskus	16,8	17,3	16,5	17,4	16,1
Homs	16,2	18,6	18,9	19,5	18,4
Palmyra	18,2	18,6	18,9	19,5	18,4
Hama	17,6	18,4	18,1	18,6	16,9
Lattakia	19,2	19,6	19,5	20,0	19,2
Aleppo	15,9	17,1	17,4	18,4	17,3
Deir Ez Zor	19,7	19,7	20,1	20,8	19,4
Al Qamishle	18,8	18,1	18,7	19,6	18,1

Tabelle 15 :Der jährliche Temperaturdurchschnitt 1997 min + max [51](S.50).

Pegel	Jährliche Temperatur (°C)											
	Absolut min.			Absolut max.			Durchschnitt	Abweichung Vom Durchschnitt	Maximal	Abweichung Vom Durchschnitt	Minimal	Abweichung Vom Durchschnitt
	Monat	Tag	°C	Monat	Tag	°C						
Damaskus	4	11	-7,5	7	2,1	40,5	16,8	-0,1	25,0	0,0	9,2	1,2
Homs	2	5	-7,0	6	21	37,5	16,2	-0,2	22,1	-0,7	10,9	0,2
Palmyra	2	1	-4,8	7	21	41,7	18,2	-0,3	25,1	-0,5	21,1	0,2
Hama	2	5	-5,5	6	20	40,0	17,6	-0,2	24,2	-0,6	11,7	0,5
Lattakia	2	7	1,0	5	15	37,4	19,2	-0,3	20,4	-2,6	15,7	-0,4
Aleppo	1	29	-5,7	6	21	40,3	15,9	-	21,9	-2,0	9,8	-
Deir Ez Zor	12	17	-7,8	7	22	43,2	19,7	0,0	26,3	-0,4	12,6	-0,3
Al Qamishle	2	2	-5,5	6	21	43,7	18,8	0,1	24,7	0,5	11,8	-0,6

6.1.2. Geographie

Syrien, 185 180 km² groß, grenzt im Norden an die Türkei, im Osten und Südosten an den Irak, im Süden an Jordanien, im Südwesten an Palästina/Israel und im Westen an den Libanon und das Mittelmeer. Das Land gliedert sich in 14 Verwaltungsbezirke, einer davon ist die Hauptstadt Damaskus.

Man kann das Land in 4 geographische Regionen aufteilen:

- Die Küstenregion zwischen den Bergen und dem Mittelmeer.
- Die Gebirge und Hochebenen die sich parallel zum Mittelmeer von Norden nach Süden erstrecken.

- Die inneren Gebiete, nördlich der Gebirge, einschließlich der Gebiete von Damaskus, Homs, Hama, Aleppo, Al Hassake und Dara'a.
- Die Steppen- und Wüstengebiete im Südosten an der Grenze zu Jordanien und dem Irak.

1993 schätzte man die kultivierbare Fläche auf 5.940.000 ha, 32 % des gesamten Staatsgebietes. Die kultivierte Fläche schätzte man zur gleichen Zeit auf 4.940.000 ha, 83% der kultivierbaren Fläche. Auf 4.270.000 ha wurde einmal im Jahr geerntet (annual crops), 670.000 ha wurden ganzjährig genutzt (permanent crops). Etwa 62 % der kultivierten Fläche liegt in den 3 nördlichen Verwaltungsbezirken Aleppo, Ar Raqqa und Al Hassake, die zusammen etwa 33 % des gesamten Staatsgebietes ausmachen[49].



Abb. 6: Karte von Syrien

6.1.3. Bodenbeschaffenheit

Die folgende Tabelle bietet einen Überblick über die Bodenarten Syriens

Tabelle 16 : Flächen der verschiedenen Bodenarten (1000 ha) [51] (S.37).

Erde Gruppe	Damas-kus	Aleppo	Homs	Hama	Lattakia	Deir Ez Zor	Idleb	Al Hassake	Raqqa	Al Sweida	Dara'a	Tartus	Qunaitra	Total
Mittelmeer Rotboden	-	200	38	54	184	-	147	-	-	-	-	188	39	850
Grumsol	82	434	157	269	-	-	347	440	4	48	288	1	147	2217
Cinnamonic	622	646	936	382	-	90	74	1045	685	221	81	-	-	4782
Wüstensand	1063	-	2395	104	-	372	-	-	20	286	4	-	-	4244
Gypsiferous	-	430	672	51	-	2596	-	728	1051	-	-	-	-	5528
Alluvial	-	52	-	-	22	248	-	7	202	-	-	-	-	531
Grundwasser boden	47	88	24	28	24	-	42	113	-	-	-	-	-	366
Total	1814	1850	4222	888	230	3306	610	2333	1962	555	373	189	186	18518

6.1.4. Wasser

- Wasserressourcen

Obwohl Zahlen zu den Wasserressourcen wegen der wenigen zuverlässigen Daten nur sehr schwer zu ermitteln sind, kann man annehmen, daß im gesamten Lande jährlich 7 km³ Regen fällt. Der Rückfluß in das Grundwasser beträgt ca. 4.2 km³ von denen 2 km³ wieder als Quellwasser der Flüsse austreten.

Tabelle 17 : Erneuerbare Wasserressourcen [59]

Durchschnittlicher Niederschlag		252	mm/a
Innere erneuerbare Wasserressourcen		7.0	km ³ /a
Gesamte erneuerbare Wasserressourcen	1995	26.26	km ³ /a
Gesamte erneuerbare Wasserressourcen pro EW	1995	1 791	m ³ /a
Gesamte Kapazität der Staudämme	1994	15 800	10 ⁶ m ³

- Flüsse

Es gibt 16 Flüsse und Nebenflüsse in Syrien, 6 davon fließen durch andere Staaten:

Der Euphrat, Syriens größter Fluß, kommt aus der Türkei und fließt in den Irak. Seine Gesamtlänge beträgt 2.330 km, 680 km davon in Syrien.

Der Afrin im Nordwesten des Landes, kommt ebenfalls aus der Türkei, fließt durch Syrien und kehrt dann wieder in die Türkei zurück.

Der Orontes im Westen kommt vom Libanon und fließt in die Türkei.

Der Yarmouk entspringt in Syrien und Jordanien und bildet in seinem Verlauf die Grenze zwischen beiden Staaten, bevor er in den Jordan mündet.

Der Kebir entspringt in Syrien und Libanon und bildet die Grenze zwischen beiden Staaten bevor er ins Mittelmeer fließt.

Der Tigris bildet die Grenze im äußersten Nordosten zwischen Syrien und der Türkei.

Man schätzt, daß natürlicherweise jährlich durchschnittlich 28,73 km³ Oberflächenwasser aus internationalen Flüssen nach Syrien fließen würden. Tatsächlich ist es aber weniger. Denn wenn wir 15,75 km³ Wasser des Eufrat und 1,74 km³ seiner Nebenflüsse sowie 0,19 km³ des Afrin einrechnen, wie von der Türkei zugestanden und 0,43 km³ durch den Kebir und den Orontes, wie mit Libanon vereinbart, so macht das nur 18,11 km³ im Jahr. Der Tigris, der der zweitwichtigste Fluß des Landes ist, begrenzt den Staat im Osten und bedeutet einen jährlichen Zufluß von 9,0 km³ (50% von 18,0). Das macht insgesamt 27,11 km³ im Jahr.

Der gesamte natürliche Abfluß aus Syrien würde 31,975 km³ im Jahr betragen, vertraglich vereinbart mit den Nachbarstaaten sind jedoch nur 9,2 km³. Das bedeutet insgesamt eine externe Wasserressource für Syrien von 17,91 km³ im Jahr (27,11 – 9,2) [49].

Tabelle 18 :Die Hauptflüsse, die durch Syrien fließen [59]

Fluß	Durchfluß nach Syrien (km ³ /a)			Durchfluß von Syrien (km ³ /a)		
	Von	Natürlich	Aktuell	nach	natürlich	Abkommen
Eufrat *	Türkei	26.29	15.75*	Irak	30	9
Nebenflüsse	Türkei	1.74	1.74	-	-	-
Afrin	Türkei	0.19	0.19	Türkei	0.25	-
Orontes, El Kebir	Libanon	0.51	0.43		1.2	-
Yarmouk	-	-	-	Jordanien	0.4	0.2
Banyas	-	-	-	Israel	0.125	
Sub-total	-	28.73	18.11	-	31.975	9.2
Tigris	50%	9	9	-	-	-
Total	Zufluß	37.73	27.11	Abfluß	31.975	9.2

*Die Türkei sichert Syrien einen minimalen Durchfluß von 15.75 km³/a zu

Tabelle 19 : Flußlänge und tatsächlicher Durchfluß 1997 [51](S.41)

Fluß	Durchfluß (m³/sec)			Länge (Km)	
	Min.	Max.	Durchschnitt	In Syrien	Total
Euftrat	23,0	2007,0	990,0	680	2880
Al Khabour & Nebenflüsse	1,5	60,0	14,8	442	442
Al Jaghiagh	-	18,0	3,4	100	124
Al Balikh	0	8,1	1,6	202	202
As Sajour	-	-	4,8	74	122
Orontes & Nebenflüsse	5,5	13,4	9,0	441	485
Afrin & Nebenflüsse	-	-	-	68	149
Quieq	-	-	3,4	98	126
Al Kebir	-	-	-	-	-
Al Schamali	0,0	16,3	5,4	96	96
Sinn	5,2	20,0	11,1	6	6
Banyas Küste	0,2	1,2	0,7	22	22
Barada	0,4	4,1	1,5	81	81
Al Awaj	0,1	5,2	1,7	70	70
Al Yarmouk	1,9	2,9	2,3	53	65
Al Kebir Al Janub	0,7	16,4	4,6	56	76
Banyas	0,1	2,2	0,8	1	1
Sybarani	0,3	2,6	0,9	32	32
Abou Kubis	0,1	2,4	0,5	6	6

- Internationale Abkommen

Wie bereits in der Tabelle erwähnt, hat, was den Euftrat betrifft, die Türkei von sich aus einseitig entschieden, einen Durchfluß von minimal (15,75 km³/Jahr) nach Syrien sicherzustellen, obwohl von syrischer Seite mehr gefordert wurde.

In einem Vertrag mit dem Irak von 1990 stimmte Syrien zu, das Wasser des Euftrat auf der Basis 58% Irak / 42% Syrien zu teilen, was einen Durchfluß von 9 km³/ Jahr an der Grenze zum Irak bedeutet, wenn man die Zahl von 15,75 km³ von der Türkei zugrunde legt. Bis jetzt gibt es, was die Nutzung des Euftrat betrifft, kein gemeinsames Abkommen der 3 Länder.

1955 wurde ein Abkommen zwischen Syrien und Jordanien unterzeichnet, das die Zuweisung des Wassers des Yarmouks regelt. 1987 wurde es erneuert. Jordanien stehen dadurch 0,2 km³ Flußwasser pro Jahr zu.

Ein kürzlich zustande gekommener Vertrag zwischen Syrien und dem Libanon überläßt dem Libanon 80.000.000 m³ Wasser aus dem Orontes, der Rest verbleibt Syrien [49] .

- Grundwasser

Das Grundwasser beträgt ca. 4,2 km³ . Davon treten 2 km³ als Quellwasser der Flüsse wieder aus. Der gesamte Zustrom von Grundwasser nach Syrien wird auf 1,35 km³ geschätzt, 1,20 km³ aus der Türkei und 0,15 km³ aus dem Libanon. Der bisher nicht quantifizierte Abfluß des Grundwassers nach Jordanien könnte beträchtlich sein. 1993 betrug der durchschnittliche Grundwasserverbrauch Syriens 1820 x 10⁶ m³/a [51].

- Wasserverbrauch

Der tatsächliche jährliche Wasserverbrauch in Syrien wurde 1993 auf 14,41 km³ geschätzt, davon entfielen 94% auf die Landwirtschaft. Die Schätzung des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs beruht auf der Annahme, daß pro Hektar maximal 13,45 m³ im Jahr gebraucht werden [49] .

Tabelle 20 : Wasserverbrauch in Syrien 1993 [59]

Landwirtschaft	13 600	10 ⁶ m ³ /a
Haushalt	530	10 ⁶ m ³ /a
Industrie	280	10 ⁶ m ³ /a
Gesamt	14 410	10 ⁶ m ³ /a
Verbrauch pro Einwohner	1 017	m ³ /a
Anteil an den erneuerbaren Wasserressourcen	53,11	%

- Wasserverschmutzung und Krankheiten

In Syrien ist jeder größere Fluß durch Rohabwässer verunreinigt. Da verlässliche Daten fehlen, ist nicht bekannt wie hoch der Abwasseranfall tatsächlich ist. Die Wasserverschmutzung birgt jedoch ein gesundheitliches Problem. So schätzt man, daß dadurch Durchfallerkrankungen, Cholera und Typhus durch schlecht gereinigtes

Abwasser verbreitet werden, ein Drittel der Bevölkerung durch verunreinigtes Wasser ständig krank oder geschwächt und ein weiteres Drittel durch das Freiwerden chemischer Substanzen im Wasser gefährdet ist, deren Langzeitfolgen noch unbekannt sind [49].

- Trend im Wassermanagement

Die Landwirtschaft ist neben der petrochemischen Industrie die Haupteinnahmequelle und der größte Devisenlieferant Syriens und bietet die meisten Arbeitsplätze. Die bewässerten Gebiete produzieren über 50 % der landwirtschaftlichen Güter auf 18,6 % der kultivierten Flächen. Ein großer Anteil des Weizens, sowie alle wesentlichen Industriepflanzen einschließlich Baumwolle, Tabak und Zuckerrohr werden auf bewässerten Flächen produziert. Bis jetzt basiert die Entwicklung und Nutzung der Bewässerungsanlagen auf einem ad hoc System, das hauptsächlich in der kurzfristigen Reaktion auf die verschiedenen Anforderungen besteht.

Die Notwendigkeit einer Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion führte zum Bau von Dämmen,

um Flächen in deren Umgebung zu bewässern. Attraktive Preise für Nahrungsmittel, besonders für Weizen, führten zu einer rapiden Zunahme von Bohrungen und einer übermäßigen Ausbeutung des Grundwassers.

Hinzu kommt das Bevölkerungswachstum und ein rasches Anwachsen der Industrie in den großen Städten, die beide zu einer weiteren Ausbeutung der begrenzten Wasserreserven beitragen.

Durch die jüngsten Entwicklungspläne wurden 60 – 70 % der öffentlichen Investitionen in der Landwirtschaft in Bewässerungsprojekte gesteckt, besonders für den Bau des Tabka – Dammes und des Assad – Stausees.

Bewässerte landwirtschaftliche Flächen im Damaskus – Becken stehen, was Boden und Wasser betrifft, der Ausweitung der Industrie- und Wohnflächen gegenüber. Die Landwirtschaft ist in den letzten Jahrzehnten dort bereits stark reduziert worden.

Die zukünftige Entwicklung in der Bewässerung wird im Wesentlichen darauf beruhen, welche Vereinbarungen Syrien mit seinen Nachbarn (Türkei, Libanon, Jordanien und

Irak) über die Nutzung der Flüsse trifft. Gestaltung und Durchsetzung neuer politischer Strategien und Programme, sowie zeitgemäßer Projekte und Technologien zur Verbesserung der Effektivität der Wassernutzung und einer besseren Kontrolle des Oberflächenwassers und der Ausbeutung des Grundwassers sind die wichtigen Herausforderungen, denen die syrische Politik gegenübersteht.

Für die Zukunft hat die Regierung einige Projekte in Angriff genommen: Dies betrifft 91 000 ha im Eufrat-Tal, 150 000 ha im Tal des Khabur (Nebenfluß des Eufrat), 150 000 ha im Tal des Tigris durch Abpumpen aus dem Fluß und 72 000 ha im Orontes-Tal (Al Ghab) [49] .

6.1.5. Abwasser

Die Reinigung der Hausabwässer erfolgt hauptsächlich in den Städten Damaskus, Aleppo, Homs und Salamie. Die Gesamtmenge des behandelten Abwassers betrug 1993 schätzungsweise 0,37 km³, 60 % des dort produzierten Abwassers. Dabei ist die Behandlung sehr einfach und unzureichend. Die ungenügenden Abwasserbehandlungssysteme und die Zunahme des unbehandelten Industrieabwassers hat die Becken des Eufrat, des Orontes und des Barada zerstört.

In Tartus z. B. gibt es 14 direkte Abwasser - Einmündungen ins Meer. Das bringt nicht nur Krankheiten mit sich, sondern auch Probleme im Tourismus. Die einzige komplette Kläranlage für Regen- und Haushaltsabwässer befindet sich in Damaskus. Durch ungenügende Überwachung liefert diese Anlage ihre Zielwerte jedoch nicht und ist bereits einige Male ausgefallen. Die Stadt Salamie betreibt seit 1982 einen Oxidationsteich, von dem wegen fehlender sachgemäßer Überwachung 1992 z. B. eine Choleraepidemie ausging. In Homs wird das Abwasser nach mechanischer Klärung einfach in den Orontes geleitet. Ab diesem Jahr soll zusätzlich eine Belebtschlammanlage in Betrieb genommen werden. Eine solche Anlage wird ebenfalls in Aleppo gebaut, um die Abwässer zu behandeln, bevor sie in den Quieq eingeleitet werden. In Hama ist eine komplette Kläranlage fertig geplant, aber leider immer noch nicht in Betrieb. Pläne für Kläranlagen existieren ebenfalls für die Vororte vom Damaskus. Das vorhandene Abwasser wird z. Zt. ungeklärt auf die Felder geleitet und dient dort zur Düngung.

In Syrien sind laut FAO-Statistik 70% der Haushalte an eine Abwasserkanalisation angeschlossen, aber das Abwasser wird hauptsächlich, wenn überhaupt, durch Septic-Tanks oder Verwertung von Schwarzwasser „behandelt“, dadurch kommen in Syrien oft Cholera und Typhus vor. Es breiten sich 80 Prozent aller Krankheiten in Syrien durch verunreinigtes Wasser aus.

6.1.6. Sozioökonomische Faktoren

- Bevölkerung

Der Bevölkerungszuwachs von 3,5% im Jahr ist der Grund vieler Probleme in Syrien, er erhöht u. a. den Wassermangel und die Wasserverschmutzung ständig. Gleichzeitig bedeutet der Verbrauch von Wasser aber auch Wohlstand, kurz gesagt, dort wo mehr Wasser verbraucht wird, gibt es größeren Wohlstand. Denn um mehr zu produzieren braucht man mehr Wasser.

Tabelle 21 : Bevölkerungsverteilung in Syrien 1993-1995 [59]

Bevölkerung			
Bevölkerung gesamt	1995	14.661.000	Einwohner
Bevölkerungsdichte	1995	79	Einwohner/km ²
Landbevölkerung	1995	48	%
Wasserversorgungsrate			
Stadtbevölkerung	1993	90	%
Landbevölkerung	1993	60	%

- Gewohnheiten

Bei Lokalbesichtigungen in ländlichen Regionen fällt auf, daß mit dem Wertstoff Wasser immer noch meist sehr verschwenderisch umgegangen wird. Dies ist um so erstaunlicher, weil man normalerweise voraussetzt, daß gerade in Regionen, die durch ein Defizit an Wasserangebot gekennzeichnet sind, man um so sparsamer mit dieser Ressource umgeht. Meist ist dies jedoch nicht der Fall. Wer auch immer Zugang zu qualitativ und quantitativ ausreichenden Wasserressourcen hat geht damit meist sehr großzügig um.

Der Gedanke, so wenig Wasser wie möglich zu verbrauchen, um die vorhandenen, teilweise nicht regenerierbaren Vorräte im Grundwasser so weit wie möglich zu schonen, ist dort absolut fremd, da das Wasser als freies Gut für jedermann betrachtet wird. Hier muß unbedingt Aufklärung über die Notwendigkeit eines guten

Wasserverteilungsmanagements betrieben werden, sowohl bei den Verbrauchern als auch bei den Verantwortlichen in Politik und Verwaltung.

Ein vielfach aus Stammesstrukturen abgeleitetes hierarchisches Denken und Handeln stemmt sich oft genug gegen Lösungen, die eine klare Delegation von Autorität und Vollmachten an Untergebene erfordert. In Unkenntnis der Kontrollmöglichkeiten, welche klare Zielvorgaben und Erfolgskontrollen bieten, befürchten Vorgesetzte die Aufsicht und Übersicht zu verlieren, wenn sie nicht jeden Vorgang selbst kontrollieren [35].

- Religion

Auch religiöse Vorstellungen können sich als ernste Hindernisse erweisen, z. B. unterschiedliche Interpretationen des Korans zum Wasser und seines, oft sehr eingeschränkten, Sauberkeitsgrades. Trinkwasser muß auch hier andere Kriterien erfüllen als solches das zum Waschen oder zur Bewässerung von Feldern gebraucht wird. Außerdem kann mit stillem, riechendem oder farbigem Wasser die Waschung zum Gebet nicht vollzogen werden. Man kann also davon ausgehen, daß gereinigtes Abwasser, egal welcher Güte, auf jeden Fall nicht zurück in den Haushaltswasserkreislauf geraten darf.

- Abwasserbeschaffenheit

Der Wasserverbrauch und die damit verbundene Konzentration von Abwasserinhaltsstoffen, ist ein Beispiel für die Auswirkungen sozioökonomischer Bedingungen auf Wasserreinigung und Gewässerschutz. Wie weit hier die Spanne reicht, zeigt folgende Beispiel:

In Deutschland wird für normales kommunales Abwasser im allgemeinen von einem Wasserverbrauch von 200 l/E*d und einer BSB₅-Konzentration von 300mg/l ausgegangen. Am „Asian Institute Of Technology“ in Bangkok liegen die entsprechenden Werte bei etwa 1000 l/E*d und 85 mg/l. Diese Werte erklären sich aus den klimatischen Verhältnissen, der kostenlosen Bereitstellung des Wassers und der Tatsache, daß die Mehrzahl der Institutsangehörigen und Studierenden der Obersicht asiatischer Länder zuzurechnen ist.

Im Gegensatz hierzu ist z. B. der Wasserverbrauch in Amman wegen des dort bestehenden Wassermangel auf 40 l/E*d beschränkt. Als Folge hiervon liegt während der trockenen Jahreszeit der BSB₅ des Abwassers im Mittel bei etwa 800 mg/l, der Ammoniumstickstoff im Mittel etwa bei 85 mg/l.

Aufgrund derartiger Unterschiede sind in Syrien Bemessungsverfahren, die von Standardwerten oder globalen Bemessungsgrößen ausgehen, unbrauchbar oder zumindest im Einzelfall auf ihre Anwendbarkeit hin zu prüfen. Die organische und hydraulische Belastung sowie eventuell weitere Beschaffenheitsparameter sind vielmehr getrennt zu ermitteln und die Konsequenzen für den jeweiligen Reinigungsprozeß zu beachten. Ähnliches gilt für die Vorflutbelastung, wie das Beispiel des Ammoniumstickstoff-Gehaltes im Ablauf der Abwasserteiche von Amman zeigt:

Die Ablaufwerte der Kläranlage liegen dort im Mittel bei etwa 84 mg/l. Bei einem pH-Wert z. B. von 7,5 und einer Temperatur von 20°C ergibt sich hieraus, aufgrund des Dissoziationsgleichgewichts, rechnerisch eine Ammoniakkonzentration von mehr als 1 mg/l. Konzentrationen von 0,2 mg/l wirken jedoch auf die Brut von verschiedenen Fischarten bereits tödlich. Zwar sind in diesem Beispiel die üblichen Grenzwerte für Stickstoff im Kläranlagenablauf oder im Bewässerungswasser außer acht gelassen, es weist jedoch daraufhin, daß die in Syrien häufig anzutreffenden hohen Abwasserkonzentrationen zu besonderen Problemen führen können und dementsprechend besondere Überlegungen erfordern [34] [35] [36] [37].

6.1.7. Betriebswirtschaftliche Faktoren

- Abwasseranlagen

Abwasseranlagen im ländlichen Raum sind in Syrien bisher nicht gebaut worden, zumal als Voraussetzung ein zentrales Versorgungsnetz mit Trinkwasser vorhanden sein müßte. Aus Gründen der Weiträumigkeit der Siedlungen und der dadurch verursachten hohen Kosten bei Installation und Betrieb sind zentrale Versorgungsanlagen im großen Stil auch nicht sinnvoll. Beständen solche Einrichtungen und wäre auch für die Entsorgung einer Siedlungen durch Kanalisation und Kläranlage Sorge getragen, so ergäbe sich daraus auch die Notwendigkeit einer aufwendigen kontinuierlichen Überwachung und Unterhaltung der Anlagen [35].

- Kanalisation

Ältere Kanalisationsanlagen, die z. B. aus der französischen Kolonialzeit stammen, sind vielfach mit Kanalrohren von kleinem Durchmesser versehen (ϕ 10 cm) und mit geringem Gefälle verlegt. Weiterhin ist der Wasserverbrauch und damit der Abwasseranfall vielfach gering, so daß die Transportkraft im Kanal ungenügend ist. Dies führt sehr häufig zu Verstopfung. Vorhandene Kanalanlagen in Syrien sind überwiegend nach dem Mischsystem gestaltet. Wenn irgend möglich sollten Rohabwasserpumpwerke, die aus Gründen der Topographie manchmal unumgänglich sind, möglichst vermieden werden, sie bergen ein nicht vorhersehbares Ausfall- und Kostenrisiko etwa durch fehlende Ersatzteile oder durch nicht fachgerechte Wartung [35].

- Kosten von Abwasseranlagen

Vergleichswerte für Kosten von naturnahen Abwasserreinigungsanlagen gibt es auch in Deutschland nur sehr wenige. Die folgende Tabelle kann aber Orientierungshilfe bei einer Kalkulation sein.

Tabelle 22: Herstellungs- und Betriebskosten ausgewählter Kleinkläranlagen [29] (S.37)

	Zu- Ableitung DN 150, 30m	El. Zuleitung 20m	Dreikammergr. DIN 4261	Biologische Nachreinigung	Energie Kosten/Jahr	Wartung Kosten/Jahr
Untergrund- verrieselung (DIN4261) 10m/EW	1.500,-	-	3.500,- (V= 6 m ³)	4E 2.800,-	-	100,- einmal/Jahr
Bewachsener Bodenfilter (ATV-A 262)	1.500,-	550,-	3.500,- (V= 6 m ³) 8.800,- (V= 24 m ³)	4E 8.600,- 16E 13.300,-	10,- 15,-	200,- 200,- zweimal /Jahr
Tropfkörper (DIN 4261)	1.500,-	550,-	Integriert (350 l/E)	4E 11.800,- 16E 16.700,-	60,- 130,-	480,- 480,- dreimal/Jahr

Beträge in DM; die genannten Kosten sind als Untergrenze zu verstehen.

Der überwiegende Teil der notwendigen industriell gefertigten Produkte, die zum Bau einer Pflanzenkläranlage notwendig sind, werden in Syrien selbst gefertigt, wodurch Transportkosten entfallen. Darüber hinaus liegt das Lohnniveau bei etwa 25% von Deutschland. Beim Transfer technischer Anlagen rechnen Fachleute insgesamt mit

einer Rate von ca. 75% der in Deutschland anfallenden Kosten. Da der Kostenanteil Arbeitslohn bei Pflanzenkläranlagen prozentual höher ist als bei technischen Anlagen kann man schätzungsweise von einer niedrigeren Kostenrate als 75% ausgehen.

Die häufige Annahme, daß die Grunderwerbskosten in Syrien generell extrem niedrig seien und daß deshalb Abwasserteiche grundsätzlich die kostengünstigste Lösung sind, ist in dieser pauschalen Form nicht richtig, da z. Zt. Kläranlagen überwiegend in Städten und deren Randgebieten gebaut werden, wo die Grunderwerbskosten auch in einem Entwicklungsland wie Syrien relativ hoch sind. Das Gleiche gilt für Gebiete die intensiv landwirtschaftlich genutzt werden, wenn Flächen der Produktion für eine Kläranlage aufgegeben werden müssen [35] .

6.1.8. Richtlinien

Was Richtlinien betrifft, so ist die Situation in Syrien überhaupt nicht vergleichbar mit der in Deutschland und Europa. In Syrien fehlen die notwendigen Richtlinien schlichtweg. Das führt dazu, daß mit dem Import ausländischer Technologie notwendigerweise die dazugehörigen Richtlinien ebenfalls importiert werden müssen. Doch scheitert deren Umsetzung in der Regel schon daran, daß bereits verlässliche Ausgangsdaten nicht vorhanden sind. Durch eine üblicherweise unverhältnismäßig lange Planungs- und Realisationsphase der Projekte in Syrien ergibt sich eine ständig steigende Diskrepanz zwischen Ziel und Realität. Richtlinien allein, ob eigene oder importierte, nützen jedoch nichts, wenn wie in Syrien die entsprechenden staatlichen Institutionen zu deren Durchsetzung und Kontrolle fehlen.

In Damaskus wurde in den 80er Jahren eine Kläranlage für Mischabwasser geplant und gebaut. 1999 in Betrieb genommen, reicht ihre Kapazität vollkommen zufriedenstellend aus. Gleichzeitig jedoch entwickelte sich in Syrien in den letzten 10 Jahren aufgrund eines neuen Wirtschaftsgesetzes recht unkontrolliert eine blühende Industrie, die ein zunächst nicht beachtetes Abwasserproblem mit sich brachte. Da betriebliche Vorreinigung industrieller Abwässer nirgendwo vorgesehen war, gelangten diese unkontrolliert und ungeklärt in die o. g. Anlage. Folgerichtig starb der für die Behandlung notwendige Belebtschlamm ab, wodurch eine ordnungsgemäße Klärung der Hausabwässer unmöglich wurde.

Jedoch hat in Syrien, was die Umwelt betrifft, bereits ein Umdenkungsprozess begonnen. 1996 hat das neu gegründete Ministerium für Umweltangelegenheiten ein Komitee für Umweltssicherheit gebildet. Dieses Komitee hat die Aufgabe, Umweltstandards auf der regionalen Ebene zu entwickeln. Dies war dringend notwendig, da alle Kläranlagen für die großen Städte Syriens nicht für die Einleitung von Industrieabwässern geplant sind.

Die erste Version des Umweltstandards charakterisiert die verschiedenen Arten der Abwässer und die Bedingungen die an diese gestellt werden. Dies betrifft aber nur Industrieabwässer, die in vier Klassen unterschieden werden:

- Abwasser chemischer Betriebe
- Abwasser aus der Nahrungsmittelproduktion
- Abwasser aus der Produktion von Textilien
- Abwasser kleingewerblicher Betriebe

Die Abwässer müssen also die in der Tabelle 23 Anforderung einhalten, durch spezielle Vorklärung, bevor sie weiter in das Mischsystem weitergeleitet werden [52].

Tabelle23: Anforderung an Industrieabwässer zur Einleitung in Mischsysteme in Syrien [52]

aus		Chemie	Nahrungsmittel	Textil
Verdünnungsrate	In 24h	< 1/400	1/200 bis 1/400	> 1/200
PH	-	6,5 – 9,5	6,5 – 9,5	5,5 – 9,5
Schwebstoffe	mg/l	< 500	< 600	< 600
BSB ₅	ml/l	< 1000	< 600	< 500
Nges.	ml/l	150	150	150
Temperatur	°C	45	35	35

$$\text{Verdünnungsrate} = Q(\text{Industrie}) / Q(\text{Kanalsystem vor dem Fabrik})$$

Die folgenden besonderen Bedingungen in Tabelle 24 müssen ebenfalls eingehalten werden

Tabelle 24: Anforderung an Schadstoffe in Industrieabwässern zur Einleitung in Mischsysteme [52]

		max. Zulassung
Absetzbare Stoffe	cm/l	5 nach 10 min.
	cm/l	10 nach 30 min.
S	mg/l	1,00
SO ₄	mg/l	1000,00
NH ₃	mg/l	150,00
PO ₄	mg/l	60,00
Öle und Fette	mg/l	100,00
Festkörper	cm	Ø =1,50
As	mg/l	0,10
Ba	mg/l	3,00
B	mg/l	2,00
Cd	mg/l	0,50
Cr	mg/l	4,00
Cu	mg/l	1,00
Pb	mg/l	5,00
Hg	mg/l	0,01
Ni	mg/l	5,00
Se	mg/l	1,00
Ag	mg/l	0,50
Zn	mg/l	10,00
Cn	mg/l	0,50
Phenolverbindungen	mg/l	0,50
CSB	mg/l	2000,00
T.D.S.(gelöste Stoffe)	mg/l	2000,00
Cl	mg/l	600,00
F	mg/l	8,00
Insektenvertilgungsmittel	mg/l	0,005

Folgende Einschränkungen wurden gemacht:

- Keine Konzentration der Schadstoffe > 30mg/l
- Keine explosiven Gase
- Keine Radioaktivität

Zwar fehlen dem neuen Ministerium z. Zt. noch die wirksamen Instrumente zur Durchsetzung, dies wird sich in Zukunft jedoch hoffentlich ändern.

6.2. Kriterien für die Auswahl der Verfahren in Syrien

6.2.1. Klima

Von April bis November ist es in Syrien heiß und trocken, von Dezember bis März regnet es und es ist kalt, selten unter 0°. Es wird also ein Verfahren benötigt, das unempfindlich gegenüber Belastungsschwankungen ist, Zeiten ohne Abwasseranfall widersteht, und ohne Probleme auch bei sehr kleinen Anschlußgrößen eingesetzt werden kann.

Außerdem hat Syrien eine ziemlich hohe Verdunstungsrate, deshalb ist ein Verfahren zu empfehlen, das keine große Wasseroberfläche benötigt, damit möglichst viel anfallendes Ablaufwasser wiederverwendet werden kann. Andererseits bietet die hohe Sonneneinstrahlung gute Voraussetzungen für eine Vegetation, die Wassermangel und Hitze vertragen kann.

Unter den klimatischen Einflüssen ist in erster Linie Temperatur zu nennen, die in der Abwassertechnik in sehr vielfältiger Weise wirksam wird. Bei höherer Temperatur laufen chemische und biologische Reaktionen schneller ab, was zu einer Beschleunigung des Umsatzes und zu einer Erhöhung der Wachstumsraten von Mikroorganismen bei den biologischen Verfahren der Abwasserreinigung und der Schlammbehandlung führt. Dies ist zunächst ein Vorteil, da sich hieraus eine höhere Effizienz der Verfahren ergibt. Festzuhalten bleibt, daß durch die vielfach höhere Temperatur in Syrien bei aeroben biologischen Prozessen die Sauerstoffverbrauchsrate erhöht und die Sauerstoffaufnahme gleichzeitig reduziert ist.

6.2.2. Boden

Die Böden in Syrien sind überwiegend nicht bindig. Dies ist vorteilhaft für die naturnahen Reinigungsverfahren. Allerdings führt das ständige Abpumpen von Bewässerungswasser zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels. Für nichtbindige Böden bedeutet dies eine übermäßig starke Zunahme der Winderosion und Versalzung. Die Wiederverwendung gereinigten Abwassers sollte diesen Prozessen entgegenwirken.

6.2.3. Wasser

Das Oberflächenwasser reicht nicht aus für die Versorgung der Haushalte (Abb.7), der Industrie und der Landwirtschaft. Hinzu kommt, daß ungeklärte Abwässer in Flüsse und Seen eingeleitet werden, mehr als deren Selbstreinigungskraft leisten kann. Der Grundwasserspiegel sinkt, wie schon erwähnt, in manchen Gebieten extrem ab. Reinigung und Wiederverwendung der Abwässer sollten zu einer Verbesserung des Oberflächenwassers führen.



Abb. 7: Wasserversorgung im ländlichen Raum in Syrien

6.2.4. Abwasser

Das Abwasser wird nur in den großen Städten und dort auch nur teilweise gereinigt, die ländlichen Gebieten findet keine Abwasserbehandlung statt. Das ungeklärte Brauchwasser verdunstet einfach, versickert im Boden oder es wird direkt zur Bewässerung der Felder genutzt auf denen Nahrungsmittel produziert werden. Als Folge davon brach in Syrien z. B. 1989 die Cholera aus, schuld daran war die mit

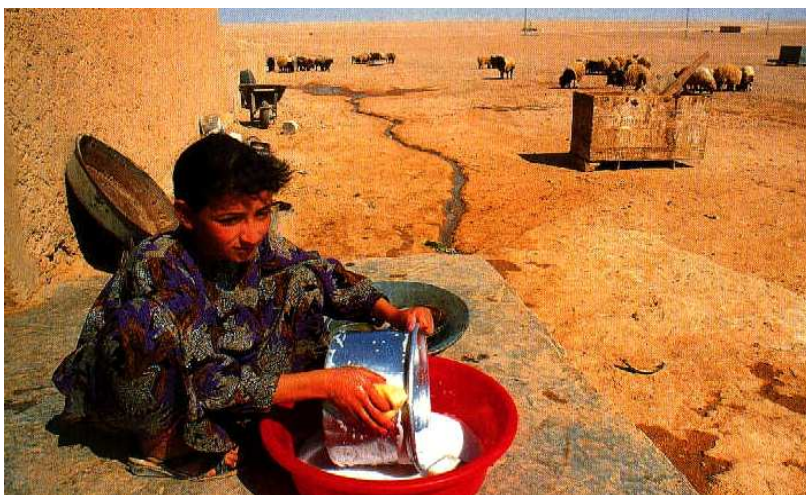


Abb. 8: Abwasserentsorgung im ländlichen Raum in Syrien

Abwasser bewässerte Petersilie, deren Gebrauch traditionell weit verbreitet ist und die man nicht kocht und nicht schält. Abwasserreinigung soll hier verhindern, daß ungereinigte Abwässer direkt in der Landwirtschaft Wiederverwendung finden. Außerdem entsteht durch diese „einfache Abwasserentsorgung“ ein nicht zu unterschätzendes Geruchsproblem, zeitweise sind große landwirtschaftliche Gebiete betroffen. Auch hier sollte Abhilfe geschaffen werden.

6.2.5. Ökonomie

Syrien ist ein Entwicklungsland, das von ausländischer Hilfe abhängig ist. Wie in allen Entwicklungsländern erreichen die Hilfen der Geberländer im wesentlichen die städtischen Siedlungsgebiete um die sich die Industriebetriebe angesiedelt haben. Die ländlichen Gebieten werden eher benachteiligt. Deshalb ist es wichtig eine preiswerte Lösung zur Abwasserreinigung anzubieten. Dies erfordert i. d. R. einfache und robuste Systeme. Eine weitere Industrialisierung der ländlichen Gebiete ist nicht zu erwarten. Im wesentlichen besteht die Landwirtschaft aus der Produktion von Oliven, Weizen, Baumwolle und Getreide. Abwasser soll also in dem Maße gereinigt werden, daß es zu deren Bewässerung genutzt werden kann.

6.2.6. Bevölkerungswachstum

Aufgrund des hohen Zuwachsrates im Bevölkerungswachstums muß in Syrien auch im ländlichen Raum in Zukunft, trotz der Landflucht, mit einem überdurchschnittlichen Anwachsen der Bevölkerungszahlen gerechnet werden. Kläranlagen sollten deshalb technisch leicht und auch kostengünstig erweiterbar sein.

6.2.7. Raumeigenheiten

Ein besonderes Problem im ländlichen Raum ist, daß die Kläranlagen aufgrund der geringen Einwohnerzahlen relativ klein ausgelegt werden müssen. Sie haben untermengen- und verschmutzungsmäßige Stoßbelastungen auszuhalten. Dadurch ergeben sich zwangsläufig mangelhafte Reinigungsleistungen. Deshalb können die Grenzwerte für die Restverschmutzung wahrscheinlich nicht immer eingehalten werden. Oft steht kein Vorfluter zur Verfügung, in den das gereinigte Abwasser eingeleitet und dessen Selbstreinigungskraft noch zusätzlich genutzt werden kann. Daher sind Methoden vorzuziehen, die generell eine hohe Reinigungsleistung erbringen [35].

6.2.8. Platzbedarf

Im ländlichen Raum Syriens gibt es in der Regel keine Platzprobleme, da das Land nur sehr dünn besiedelt ist und die einzelnen Siedlungen weit verstreut liegen. Nutzbare Flächen stehen meist preiswert und in ausreichendem Maße zur Verfügung, wenn für den Bau einer Kläranlage nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen geopfert werden müssen.

6.2.9. Akzeptanz

Eine Abwasserreinigungsanlage im ländlichen Raum wird nur dann erfolgreich eingesetzt werden können, wenn die Akzeptanz in der Bevölkerung hoch ist. Die Menschen sind hier oft sehr konservativ und Neuerungen gegenüber wenig aufgeschlossen. Ausländischer Technik, die zudem noch ihre Lebensgewohnheiten ändert, stehen sie u. U. besonders kritisch gegenüber. Einfache Lösungen, die nicht zu sehr in das Leben der Menschen eingreifen, sind daher ideal. Diese sollten außerdem leicht zu warten und zu bedienen sein, damit sie von den Betroffenen selbst ohne großen Aufwand betrieben werden können.

6.3. Anforderungsprofil für eine Abwasserreinigungsanlage

Nach o. a. Kriterien ergibt sich folgendes Anforderungsprofil für eine Abwasserreinigungsanlage im ländlichen Raum Syriens:

- Einfache, preiswerte und robuste Bau- und Betriebsweise
- Geringe Anforderungen an Steuerung und Wartung
- Erhöhte Flexibilität hinsichtlich einer Erweiterung
- Niedrige Wasseroberfläche
- Hohe Reinigungsleistung auch ohne Vorfluter
- Hohe Prozeßstabilität auch bei Stoßbelastungen
- Mögliche Wiederverwendung des Abwassers
- Geringe Geruchsbelastung
- Hohe Akzeptanz in der Bevölkerung

6.4. Auswahl der technologischen Lösungen

Aus ökonomischen und organisatorischen Gründen bieten dezentrale Systeme eher die Möglichkeit umweltverträglicher Lösungen, als hochtechnologische zentrale Anlagen. Für Abwasserentsorgung und Fäkalienbeseitigung gilt dies besonders im ländlichen Raum und in den Stadtrandgebieten.

Zur leichteren Übersicht der Vor- und Nachteile der verschiedenen technologischen Möglichkeiten dient die folgende Tabelle.

Unter der Voraussetzung, das keine Industrieabwässer eingeleitet werden ergibt sich aus o. a. Tabellen, daß die folgenden 3 Arten von Kläranlagen dem Anforderungsprofil weitgehend entsprechen.

Pflanzenkläranlage

Unbelüftete Teiche

Low - sanitation (Einfachanlagen)

Pflanzenkläranlagen und unbelüftete Teiche kommen in Siedlungen zum Einsatz, in denen genügend Abwasser gesammelt werden kann. In kleinen und verstreut gelegenen Siedlungen, in denen nicht genügend Abwasser gesammelt werden kann, werden Low-Sanitation Lösungen eingesetzt.

Aus der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Bewertungskriterien zu entnehmen.

Tabelle 26 :Bewertung der Abwasserreinigung durch Teich- und Pflanzenanlagen für Anschlüsse bis 5 000 EW [23]

Bewertungskriterien	Pflanzenbeete	Unbelüftete Abwasserteiche
Reinigungsleistung		
Org. Stoffe	Mindestforderung GKL 1 einhaltbar	Mindestforderung einhaltbar
Nährstoffe	Mäßig bis gering	Mäßig
Flächenbedarf	Groß	Sehr groß
Ausrüstung	Keine bis gering	Keine bis gering
Reaktionsräume	Schwer kontrollierbarer Bodenkörper	keine
Puffervermögen gegenüber Schmutzstößen	Groß bis mittel	Sehr groß
Speichervermögen hinsichtlich Mischwasserzufluß	Bei Beetüberstau mittel	Sehr groß
Einfahrphase	Mehrere Wochen	Keine
Betriebskontrollen Wartung	Pflanzenpflege	Sehr gering
Betriebssicherheit	Verstopfungsgefahr	Sehr groß
Reststoffe	Vorklärungsschlammbehandlung	Schlammräumung mehrjährig
Betriebskosten	Gering	Sehr gering
Baukosten	Mäßig	Mäßig
Umweltbelange	Landwirtschaftliche Einbindung leicht Geruchsentwicklung bei Betriebsproblemen	Landwirtschaftliche Einbindung leicht Geruchsentwicklung bei Betriebsproblemen

- Pflanzenkläranlagen

Um Pflanzenkläranlagen zu errichten und zu betreiben sind nur sehr wenige industriell gefertigte Produkte notwendig. Dies sind im Wesentlichen PVC/PE – Folien und – Rohre, Pumpen und Steuerungseinrichtungen. Daraus ergibt sich, daß eine solche Anlage, eine vorschriftsmäßige Bauweise vorausgesetzt, gegenüber anderen Anlagen gleicher Leistung, mit relativ wenig Aufwand gebaut und betrieben werden können.

Bei zukünftig erhöhten Abwasseranfall ist eine Erweiterung einer solchen Anlage recht problemlos möglich. Quasi ohne Betriebsunterbrechung kann, durch den Bau eines zweiten Beckens, die Betriebskapazität erhöht werden.

Im Gegensatz zu unbelüfteten Teichen bietet die Pflanzenkläranlage eine wesentlich geringere Verdunstungsrate und somit einen größeren wiederverwendbaren Anteil des gereinigten Abwassers.

Gute Reinigungsergebnisse können mit Pflanzenkläranlagen auch ohne Vorfluter erzielt werden, da eine Nachklärung des gereinigten Abwassers nicht notwendig ist.

Kleine Anlagen können Stoßbelastungen ohne wesentliche Reduktion der Reinigungsleistung verkraften. Zwar können dann Phosphat-, Nitrat – und Magnesiumwerte des Ablaufs höher sein, dies ist jedoch bei der Verwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung ein Vorteil.

In Pflanzenkläranlagen fällt kein Klärschlamm an, Transport und Weiterbehandlung von belasteten Stoffen entfällt ganz. Bei vorschriftsmäßiger Konstruktion entstehen auch keine Geruchsbelastungen. Darüber hinaus verlieren Pflanzenkläranlagen auch in Trockenzeiten ihre Funktionsfähigkeit nicht. Da in Syrien im Wesentlichen nur nichtbindige Böden vorhanden sind, ist die Gefahr der Kolmation nicht gegeben. Ein niedriger Grundwasserspiegel ist fast überall zu finden, so daß von da her Probleme beim Bau einer Anlage nicht auftreten können.

Man kann davon ausgehen, daß die Akzeptanz von Pflanzenkläranlagen in der Bevölkerung Syriens im wesentlichen hoch ist, da keine Änderung täglicher Lebensgewohnheiten zu erwarten, der Aufwand zum Bau und Betrieb der Anlage

gering ist und diese sich optisch unauffällig präsentiert und eine ästhetische Begrünung mit heimischen Pflanzen neuen Lebensraum für Tiere schafft. Die Technik ist darüber hinaus auch für Laien einfach zu verstehen und zu beherrschen.

Im Gegensatz zu Deutschland ist eine Pflanzenkläranlage in Syrien nur ökonomisch sinnvoll, wenn mehrere Haushalte gleichzeitig angeschlossen werden. Sie eignet sich für Dörfer und Kommunen in denen das anfallende Abwasser hinreichend gesammelt wird. Ihre Kapazität wird im Wesentlichen bestimmt durch die ihr zur Verfügung stehende Fläche bzw. deren Preis. Werden z. B. Flächen genutzt, die für die landwirtschaftliche Produktion ungeeignet sind, so können ohne weiteres Gemeinden mit mehr als 5000 EW angeschlossen werden.

- Unbelüftete Teiche

Eine preiswertere Lösung für Siedlungen bis max. 1000 EW bieten unbelüftete Teiche. Für den Betrieb ist nur sehr geringer technischer Aufwand notwendig und es entstehen fast keine laufenden Betriebskosten. Nachteilig ist der höhere Verdunstungsgrad des Wassers, wodurch weniger Abwasser wiederverwendet werden kann. Eine dauerhafte Nitrifikation und Denitrifikation findet hier nicht statt, jedoch ist dies kein Nachteil wenn das Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung Verwendung findet.

- Kombinationsanlage

Wenn ausreichende Flächen und finanzielle Mittel vorhanden sind, empfiehlt sich eine Kombination aus unbelüftetem Teich als Absetzeinheit mit vorgeschaltetem Rechen und zweibeetiger Pflanzenkläranlage als biologischer Reinigungsstufe.

Für alle drei Anlagentypen ist eine ausreichende Vorklärung der Abwässer in einer Mehrkammergrube unbedingt erforderlich.

- Low Sanitation (Einfachanlagen)

Syrien hat viele Klein- und Kleinstsiedlungen. Der Bau einer Sammelanlage kommt hier allein aus Kostengründen nicht in Betracht. Sinnvolle Lösungen bieten hier sog. Einfachanlagen. Dies sind Latrinen, Komposttoiletten, Senkgruben und Septic Tanks.

6.5. Wiederverwendung

6.5.1. Pflanzenschnitte

Da aus häuslichem Abwasser keine Schadstoffe zu erwarten sind, können Pflanzenschnitte aus Pflanzenkläranlagen kompostiert oder organischen Abfällen beigemischt werden um als Dünger in der Landwirtschaft Wiederverwendung zu finden.

6.5.2. Gereinigtes Abwasser

Die Abwasserreinigung bringt im wesentlichen zwei Vorteile: Erstens wird weniger verschmutztes Wasser in die Vorfluter und die Natur abgegeben und zweitens kann das behandelte Abwasser gleich wieder einer erneuten Nutzung zugeführt werden (Abb. 9). Das verfügbare Wasserangebot erhöht sich dadurch. Behandeltes Abwasser kann für Bewässerung und Grundwasseranreicherung benutzt werden, da diese Nutzungen geringe Qualitätsansprüche stellen.

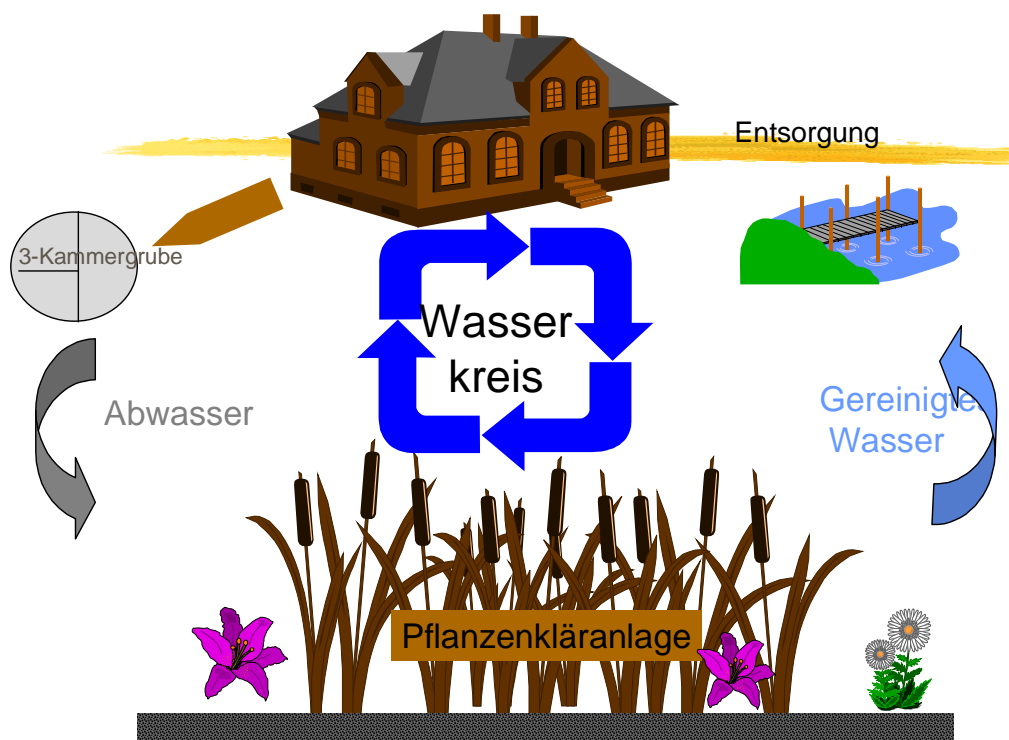


Abb. 9: Wasserkreislauf

- Bewässerung

Das gereinigte Abwasser kann an Ort und Stelle zur landwirtschaftlichen Bewässerung gebraucht werden, wodurch das Wasser mehrmals genutzt wird. Einerseits wirkt man dadurch dem Wassermangel entgegen, andererseits wird der Boden mit Nährstoffen angereichert, insbesondere mit Stickstoff - und

Phosphorverbindungen, die zu einem vermehrten Wachstum führen. Gereinigtes Abwasser von Pflanzenkläranlagen ist ohne weiters für die Bewässerung von Getreide geeignet. Dies gilt ebenfalls für den Gemüsebau, wenn höhere Qualitätsstandards eingehalten werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Bewässerung von Pflanzen, die nicht zur Produktion von Nahrungsmitteln verwendet werden, z. B. Bäume für den Erosionsschutz. Dazu reicht die normale Reinigungsleistung vollkommen aus.

Tabelle 27 zeigt die wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen Syriens, die künstlich bewässert werden.

Tabelle 27: Bewässerung in der Landwirtschaft Syriens 1993 [49]

Total	1 204 000	ha
Dauerkulturen	123 925	ha
Ein jährige Kulturen	1 080 075	ha
- Getreide	550 950	ha
- Baumwolle	200 822	ha
- Gemüse	128 719	ha
- Mais	62 772	ha
Andere Pflanzen	136 812	ha

Tabelle 28 zeigt die zulässigen Höchstwerte der Inhaltsstoffe von Abwasser in Deutschland.

Tabelle 28: Richtw. zur Beurteilung der Inhaltsstoffe von Bewässerungsabwasser [23]

Merkmale		Kontinuierlich auf allen Böden	Mehrfährig auf schweren Böden
Absetzbare Stoffe	mg/l	50	80
Schwebstoffe	mg/l	1000	2000
Biol. Sauerstoffbedarf BSB ₅	mg/l	25	50
Chem. Sauerstoffbedarf CSB	mg/l	50	150
Öle und Fette	mg/l	5	10
Stickstoff (NO ⁻³ , NH ⁻⁴)	mg/l	5	30

Neben den o. a. Werten sind die Werte der folgenden Tabelle unbedingt einzuhalten, um vor allem der Verbreitung von Seuchen vorzubeugen.

Tabelle 29: Mikrobiologischer Qualitätsbedarf für Bewässerungsabwasser [10]

Kategorie	Verwendungszweck	Betroffene Gruppen	Darmwürmer Eier/l	Coliforme Keime pro 100 ml	geeignete Verfahren
A	Bewässerung von -Nahrungsmittel zum Rohverzehr -Sportanlagen -Öffentliche Parks	-Arbeiter -Verbraucher -Publikum	< 1	< 1000	Hintereinander geschaltete Stabilisierungsbecken
B	Bewässerung von -Getreide -Industriepflanzen -Futterpflanzen -Strauch und Baumkulturen	-Arbeiter	< 1	Keine Begrenzung	Speicherung in Teichen für 8 bis 10 Tage
C	Bewässerung von Getreide der Kategorie B, ohne Kontakt zu Menschen	-Keine	Keine Begrenzung	Keine Begrenzung	Vorbehandlung mindestens Absetzung

- Grundwasseranreicherung

Dort wo keine Landwirtschaft betrieben wird, oder die Menge des gesammelten und gereinigten Abwassers nicht ausreichend ist, kann eine Kläranlage so konstruiert werden, daß das Ablaufwasser versickert. Die Rückführung in den natürlichen Wasserkreislauf führt dann zur Anreicherung des Grundwassers.

6.6. **Schlußwort**

Betrachtet man die Situation der Abwasserwirtschaft in Syrien, so ist offensichtlich, daß ein gewaltiger Nachholbedarf bei der Abwasserbehandlung besteht. Dies gilt für alle Bereiche - die Industrie, das Gewerbe und die Haushalte.

Die Behandlung des Abwassers ist aber nur ein Teil des gesamten Wasserwirtschaftskreislaufs. Spürbare Verbesserungen für Mensch und Umwelt wird es in Syrien erst dann geben, wenn der gesamte Wasserkreislauf geregelt und kontrolliert werden wird. Dazu ist es vor Allem notwendig den Verbrauch des Trinkwassers zu messen und zu bewerten.

Wasser steht weiten Teilen der Bevölkerung heute noch kostenlos und ungemessen zur Verfügung, obwohl es bereits zur Mangelware geworden ist. Dort wo es gemessen wird sind die Wasserpreise so gering, daß ein Gefühl für diesen Wertstoff gar nicht erst entstehen kann.

Dadurch und durch die weit verbreitete unkontrollierte Entnahme aus Brunnen und aus dem Grundwasser sind verlässliche Meßzahlen über den tatsächliche Wasserverbrauch in Syrien bis heute nicht vorhanden. Dies gilt ganz besonders für den ländlichen Raum.

Trotzdem könnte durch den Bau von Kläranlagen bereits jetzt eine spürbare Verbesserung der Lebensqualität für die Bewohner ländlicher Siedlungsräume erreicht werden.

Der notwendige Technologietransfer im Bezug auf Abwassernaturnahe Reinigungsverfahren wird dabei das geringste Problem darstellen. Weitaus schwieriger erscheint die Umsetzung durch das Fehlen geeigneter Rahmenbedingungen, finanzieller Mittel und der Motivation, Neues überhaupt zuzulassen.

Die größte Aussicht auf Erfolg wird demnach ein Projekt haben, das im Rahmen der Entwicklungshilfe sowohl die Technologie als auch die notwendigen Richtlinien bereitstellt und dem es ebenfalls gelingt, in der Bevölkerung und den entsprechenden Verwaltungsstrukturen die notwendige Motivation zu erzeugen.

7. Zusammenfassung

Wasser ist unser wichtigstes Lebensmittel. Steigender Verbrauch und zunehmende Verschmutzung führen besonders in den Entwicklungsländern zu Wasserverknappung und bakteriologischer und organischer Belastung des Wassers.

Dies ist auch von den Industrieländern als globales Problem erkannt worden. Finanzielle und technische Hilfen sind deshalb in die Entwicklungsländer geflossen, hauptsächlich in die großen Städte. Der ländliche Raum wurde dabei vernachlässigt.

In Deutschland gibt es Beispiele und Erfahrungen, sowohl mit hochtechnischen als auch mit naturnahen Abwasserreinigungsverfahren. In dieser Arbeit wurde geprüft, ob und unter welchen Voraussetzungen insbesondere Pflanzenkläranlagen im Zuge des Technologietransfers in Syrien zum Einsatz kommen können. Sowohl die technischen Verfahren als auch die Verfahren der naturnahen Abwasserreinigung und deren Wirkungsweise werden ebenso dargestellt, wie die Richtlinien des Bundes und der EG sowie der Stand der derzeitigen Genehmigungspraxis. Das Beispiel Golzen/Krawinkel dokumentiert die praktische Umsetzung einer geplanten Pflanzenkläranlage.

Eine Analyse der Wasser- und Abwassersituation Syriens, eingebettet in die Region des Nahen Ostens, ergibt einen ständig steigenden Bedarf an Wasser und dementsprechend auch an der Behandlung von Abwasser.

Pflanzenkläranlagen bieten eine technologisch einfache und preiswerte Lösung für dieses Problem. Sie reinigen die anfallenden Abwässer so, daß sie als Bewässerungswasser in der Landwirtschaft oder zur Grundwasseranreicherung direkt in den heimischen Wasserkreislauf zurückgegeben werden können. Dazu ist eine Kombination aus unbelüftetem Teich als Absetzeinheit mit vorgeschaltetem Rechen und einer Pflanzenkläranlage als biologischer Reinigungsstufe optimal. Entsprechende finanzielle Mittel sind dafür Voraussetzung.

Der Technologietransfer selbst ist dabei nur ein Problem. Um praktisch umgesetzt werden zu können, muß die neue Technologie den Beteiligten auch schmackhaft gemacht werden.

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Verschmutzung des häuslichen Abwassers im ländlichen Raum.....	3
Tabelle 2	Mindestanforderungen für das Einleiten von Abwasser im Gewässer.....	4
Tabelle 3	Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen.....	5
Tabelle 4	Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in empfindlichen Gebieten, in denen es zur Eutrophierung kommt	5
Tabelle 5	Anzahl der Probenahmen.....	6
Tabelle 6	Die Vor- und Nachteile der technischen Kläranlagen.....	10
Tabelle 7	Das Volumen für Septic Tanks.....	12
Tabelle 8	Vergleich verschiedener Anlagen aus technischer Sicht	17
Tabelle 9	Die Vor- und Nachteile verschiedener Pflanzen für Kläranlagen...	21
Tabelle 10	Der Filteraufbau einer vertikalen Pflanzenkläranlage.....	36
Tabelle 11	Verteilung des Wasserbedarfes, Naher Osten und Nordafrika.....	46
Tabelle 12	Die Verteilung des Niederschlags in Syrien 1997.....	51
Tabelle 13	Der jährliche Niederschlag in mm 1993 – 1997.....	51
Tabelle 14	Der jährliche Temperaturdurchschnitt in °C 1993 – 1997.....	52
Tabelle 15	Der jährliche Temperaturdurchschnitt 1997 min + max.....	52
Tabelle 16	Flächen der verschiedenen Bodenarten (1000 ha).....	54
Tabelle 17	Erneuerbare Wasserrecourcen.....	54
Tabelle 18	Die Hauptflüsse, die durch Syrien fließen	55
Tabelle 19	Flußlänge und tatsächlicher Durchfluß 1997.....	56
Tabelle 20	Wasserverbrauch in Syrien 1993.....	57
Tabelle 21	Bevölkerungsverteilung in Syrien 1993-1995.....	60
Tabelle 22	Herstellungs- und Betriebskosten ausgewählter Kleinkläranlagen.	63
Tabelle 23	Anforderung an Industrieabwässer zur Einleitung in Mischsysteme in Syrien.....	65
Tabelle 24	Anforderung der Schadstoffe in Industrieabwässern zur Einleitung in Mischsysteme in Syrien.....	66
Tabelle 25	Vergleich der Verfahren zur Abwasserbehandlung	71
Tabelle 26	Bewertung der Abwasserreinigung durch Teich- und Pflanzenanlagen für Anschlüsse bis 5 000 EW.....	72
Tabelle 27	Bewässerung in der Landwirtschaft Syriens 1993.....	76
Tabelle 28	Richtwerte zur Beurteilung der Inhaltsstoffe von Bewässerungsabwasser.....	76
Tabelle 29	Mikrobiologischer Qualitätsbedarf für Bewässerungsabwasser.....	77

9. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Entwicklung der Pflanzenkläranlagen.....	18
Abb. 2	Horizontale Pflanzenkläranlage.....	19
Abb. 3	Vertikale Pflanzenkläranlage.....	20
Abb. 4	Querschnitt einer Pflanzenkläranlage.....	24
Abb. 5	Bevölkerungszugang zur Infrastruktur.....	50
Abb. 6	Karte von Syrien.....	53
Abb. 7	Wasserversorgung im ländlichen Raum in Syrien.....	68
Abb. 8	Abwasserentsorgung im ländlichen Raum in Syrien.....	68
Abb. 9	Wasserkreislauf.....	75
Abb. 10	Effektiver Wasserkreislauf.....	78

10. Literaturverzeichnis

- [1] Energie- und Umweltzentrum am Deister e. V. (Hrsg.) 1978 „Naturnahe Abwasserreinigung“
- [2] Grundlagen Verfahrensvarianten Praktische Erfahrungen 1987 „Pflanzenkläranlagen, Bau und Betrieb von Anlagen zur Wasser- und Abwasserreinigung mit Hilfe von Wasserpflanzen“
- [3] Friedrich Wissing 1995 „Wasserreinigung mit Pflanzen“
- [4] Klaus Bahlo & Gerd Wach 1992 „Naturnahe Abwasserreinigung“ Planung und Bau von Pflanzenkläranlagen“
- [5] BMZ 1998, Materialien Nr. 94 „Wasser – eine Ressource wird knapp“
- [6] BMZ 1998 „Gemeinsam für die Eine Welt“ - Aufgaben, Bilanzen und Chancen der deutschen Entwicklungspolitik
- [7] Weltentwicklungsbericht 1994, Infrastruktur und Entwicklung
- [8] Entsorgungspraxis 9/1999 „Abwasserbehandlung in Ländern der Dritten Welt“
- [9] Saaleunstrutriasland 1997 „Kleinkläranlagen - Lösung auch für Abwasserzweckverbände“
- [10] Report of WHO Scientific Group, TRS 778, WHO 1989 „Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture“
- [11] S. Al Schami, H. Wahbe 1992, Universität Damaskus „Umwelttechnik“
- [12] Handbuch des deutschen Wasserrechtes B24 „ EG: Richtlinie über die Behandlung kommunalen Abwassers“
- [13] W. Achtnich 1980 „Bewässerungslandbau“
- [14] E. Stier ATV „ Klärwärter-Taschenbuch“
- [15] G. Lippsmeier, Starnberg 1980 „Tropenbau Building in the Tropics“
- [16] Hosang/Bischof 1993 „ Abwassertechnik“
- [17] D. Nohlen & F. Nuscheler 1993 „Handbuch der Dritten Welt 6, Nordafrika und Naher Osten“
- [18] K. Soe Diplomarbeit an der FH Suderburg 1996 „ Health Protection in Wastewater Reuse in the Agricultural Sector“
- [19] G. Mann 1982 „ Leitfaden zur Vorbereitung von Bewässerungsprojekten“
- [20] J. Pabsch 1998 „ Zusammenstellung von Bemessungsansätzen in der Abwassertechnik“ Vorlesungen an der FH Suderburg

- [21] Lemke 1998 „Entwässerung in Tropen- und Subtropenländern“
Vorlesungen an der FH Suderburg
- [22] F. Griepentrog 1999 „Landwirtschaft der Tropen und Subtropen“
Vorlesungen an der FH Suderburg
- [23] ATV Handbuch, 1999 4.Auflage „ Biologische und weitergehende Abwasserreinigung“
- [24] Lfu Baden-Württemberg 1998 „Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem“
- [25] H. Maus, Arnsberg 1999 „Zukunft der dezentralen Abwasserentsorgung“
Erstes Abwasserfachsymposium der U.A.N FH Suderburg
- [26] G. Neemann, Göttingen 1999 „Optimierung der Reinigung von Kleinkläranlagen - Am Beispiel von Schilfkläranlagen und SBR-Anlagen“
Erstes Abwasserfachsymposium der U.A.N FH Suderburg
- [27] S. Kunst, K. Kayser Hannover, 1999 „ Leistungsfähigkeit von Kleinkläranlagen“
Erstes Abwasserfachsymposium der U.A.N FH Suderburg
- [28] ATV-Abwassertechnische Vereinigung, St. Augustin 1998 „Behandlung von häuslichen Abwässern in Pflanzenbeeten. ATV-H262 Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik
- [29] K. Bahlo 4/1998 in „Der Gemeinderat“, Auf den Prüfstand
- [30] K. Bucksteeg, Fulda 1987 „ Wahl des Abwasserreinigungsverfahrens im Zusammenwirken mit dem Entwässerungsverfahren“
ATV-Fortbildungskurs E/5 „Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum“
- [31] T. Börner & H. Johannes Pöpel, Fulda 1990 „Haben sich Pflanzenkläranlagen bewährt?“ ATV-Fortbildungskurs F/5 „ Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum“
- [32] J. Hulsch, Cloppenburg 1990 „Abwasserreinigung im ländlichen Raum als Aufgabe eines konsequenten Gewässerschutzes“
BWK Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V.
Referat des Fortbildungslehrgangs „Abwasserentsorgung im ländlichen Raum“
- [33] G. Köhn, Cloppenburg 1990 „ Verbesserte Mehrkammer-Ausfallgruben mit nachgeschaltetem Bodenfilter als Alternative zu zentralen Kläranlagen im ländlichen Raum“
BWK Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V.
Referat des Fortbildungslehrgangs „Abwasserentsorgung im ländlichen Raum“
- [34] Dr. Klaus Erbel 1995 „Umweltverträglichkeit von Projekten der Wasserwirtschaft in Entwicklungsländern“ ATV Fortbildungskurs EL/1995 „Abwasserableitung und Abwasserreinigung, Abfallentsorgung“. Vorbereitet vom ATV-Fachausschuß 6.7 „ Fortbildung von Ingenieuren und Wissenschaftlern aus Entwicklungsländer“
- [35] Franz v. Mutius, ATV Fulda 1995 „ Grundsätzliche Erfahrungen aus abgeschlossenen und laufenden Projekten der Förderung von Ver- und Entsorgungsunternehmen in der Technischen Zusammenarbeit“ ATV Fortbildungskurs EL/1995 „Abwasserableitung und Abwasserreinigung, Abfallentsorgung“. Vorbereitet vom ATV-Fachausschuß 6.7
„Fortbildung von Ingenieuren und Wissenschaftlern aus Entwicklungsländer“
- [36] H. Orth und G. Bahre, Bochum 1995 „ Auswirkung unterschiedlicher klimatischer und sozio-ökonomischer Bedingungen, dargestellt anhand von Beispielen“ 7-a) Abwasserreinigung ATV

- Fortbildungskurs EL/1995 „Abwasserableitung und Abwasserreinigung, Abfallentsorgung“. Vorbereitet vom ATV-Fachausschuß 6.7 „ Fortbildung von Ingenieuren und Wissenschaftlern aus Entwicklungsländern“
- [37] H. –J. Kneipp, Wiesbaden 1995 „Bau und Betrieb von Abwasseranlagen“
ATV Fortbildungskurs EL/1995 „Abwasserableitung und Abwasserreinigung, Abfallentsorgung“. Vorbereitet vom ATV-Fachausschuß 6.7 „ Fortbildung von Ingenieuren und Wissenschaftlern aus Entwicklungsländer“
- [38] R. Helmer, Genf May 1996 „The Mega –City Problem“
ATV-Colloquium for Developing Countries „Wastewater and Solidwaste Treatment in Developing Countries“
- [39] B. Torge, Genf May 1996 „Unleaded Digesters, Septic Tanks and Lagoons an Acceptable Low Technology Option?“ ATV-Colloquium for Developing Countries „Wastewater and Solidwaste Treatment in Developing Countries“
- [40] J. Pabsch & H. Pabsch, Hildesheim 1998 „Vererdung von Klärschlamm“
- [41] LAW-Materialien 5/89 Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen
„ Öffentliche Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum“
- [42] B. Vesilind 1997 „ Wasser: die brisante Ressource des Nahen Ostens“
Merian Syrien - Libanon 8/50
- [43] V. Lüderitz, D. Borchardt, H. Klapper, E. Eckert 1999 „Aspekte eines zukunftsfähigen Umgangs mit Wasserressourcen“ Wasser und Boden 51/9
- [44] Hessenbauer 37/99 „Dezentrale Abwasserreinigung mit bewachsenem Bodenfilter – Ein leistungsfähiges Verfahren mit hoher ökologischer Nutzung“
- [45] ZAUG GmbH, Büro-Dokumente, Planung und Baubetrieb
- [46] A. Onken, Gießen 1994 „Abwasserreinigung im ländlichem Raum, Für und Wider dezentraler Entsorgungskonzepte“, ZAUG GmbH Fachseminar „Pflanzenkläranlagen Leistungsfähigkeit und praktische Einsatzmöglichkeiten“
- [47] B.Ebeling, Gießen 1994 „Naturnahe Abwasserreinigung - Einsatz von Pflanzenkläranlagen im Bereich dezentraler Kleineinleiter“ ZAUG GmbH Fachseminar „Pflanzenkläranlagen Leistungsfähigkeit und praktische Einsatzmöglichkeiten“
- [48] M. Kröckel, Gießen 1994 „Bewertung der Situation dezentraler Kleineinleiter aus der Sicht eines Wasserwirtschaftsamtes“ ZAUG GmbH Fachseminar „Pflanzenkläranlagen Leistungsfähigkeit und praktische Einsatzmöglichkeiten“
- [49] UNDP/FAO. Damascus 1994. Improved Management of Water Resources for Agricultural Use (Phase II). SYR/90/001
- [50] Al Reem (Arabisch) 1997 „ Nature & Environment“
- [51] The Central Bureau of Statistics in Syria 1997 (Arabisch- Englisch)
- [52] Das Ministerium für Umwelt, Syrien 1997 (Arabisch)
- [53] Syrien, <http://www.arab.net>
- [54] Syrien, <http://hometown.aol.com/pwlandkt/syria/syria.html>
- [55] The World Health Report 1999 <http://www.who.org>

- [56] Food and Agriculture Organisation „ Food for the World of the United Nations“ Report 1997, <http://www.fao.org>
- [57] Summary Tables of the Near East, <http://www.fao.org>
- [58] Water in Arab States, <http://www.fao.org>
- [59] Aquastat Syria, <http://www.fao.org>
<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/tasy.htm>
- [60] Analysis : Groundwaterexploration - Syria, <http://www.fao.org>
- [61] Naher Osten und Maghreb, <http://www.gtz.de>
<http://www.fao.org/sd/epdirect/epan0006.htm>