Hochschule RheinMain
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim Geisenheim

Studiengang UMSB
– Umweltmanagement und Stadtplanung in Ballungsräumen

Interdisziplinäres Projekt

Wasserpumpen in der Entwicklungshilfe

Betreuer:
Prof. Dr. Heinz Eckhardt
Dipl.-Ing. Paul Guckelsberger

vorgelegt von:
Dipl.-Ing. (FH) Mascha Wembacher
Matrikel-Nummer 467399

Wiesbaden, den 19.03.2013

Hochschule RheinMain • RheinMain University of Applied Sciences
Wiesbaden - Rüsselsheim - Geisenheim

UmweltManagement und Stadtplanung in Ballungsräumen (UMSB)

34190 Interdisziplinäres Projekt: Strukturplanung und Organisation

für

Name	*Vorname*	*Matr.* .....
Wembacher	Mascha	

Betreuer: Prof. Dr. Heinz Eckhardt
Dipl.-Ing. Paul Guckelsberger

Thema des Projektes:

Wasserpumpen in der Entwicklungshilfe

Problemstellung:

Selbst bei guter Planung durch erfahrene Mitarbeiter und Hilfsorganisationen oder durch professionelle arbeitende Einrichtungen wie die Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ), scheitern Entwicklungshilfeprojekte auch heute noch immer wieder, weil die Maßnahmen und eingesetztes Material und Methode zunächst der Notwendigkeit der „schnellen Hilfe" unterliegen. Für den Erfolg ist aber in der Regel entscheidend, wie die Bevölkerung(skultur) langfristig mit den angestoßenen Projekten umgeht, wie sie Material und Methode langfristig akzeptiert. Bewährt haben sich dabei oftmals solche Projekte, deren Auswirkungen nicht zu kontrastreich zum Leben der Bevölkerung vor Projektbeginn stehen. Projekte denen es gelang, dass in der Entwicklungshilfe oft zitierte Erfolgsrezept von der „Hilfe zu Selbsthilfe" nachhaltig zu etablieren.
Die Wasserförderung und Verteilung spielt in der Entwicklungshilfe von je her eine tragende Rolle. Vor diesem Hintergrund sollen Entwicklungshilfe-Projekte recherchiert werden, die sich speziell der Thematik der Wasserförderung/Wasserverteilung gewidmet haben. Dabei soll bewusst auch nach solchen Projekten recherchiert werden, die keinen erfolgreichen Verlauf genommen haben. Im Vergleich zu den erfolgreichen Projekten sollen die Gründe für Erfolg oder Misserfolg herausgearbeitet und in einen Maßnahmenkatalog umgesetzt werden.
Negativ-Beispiel: Einem Dorf, in dem die Einwohner ihr Wasser in Eimern von einem Brunnen holten und über einen offenen Graben zwei Dorfgemeinschaftäcker bewässert wurden, brachte eine neue leistungsstarke Pumpe, kurzfristig einen erhöhten Komfort und erhöhten Ernteertrag. Langfristig stellte sich jedoch durch den nun erhöhten Wasserverbrauch ein extrem niedriger Grundwasserspiegel in der Dorfregion ein.
Folge: Wassermangel, Baumsterben, Dürre, Missernten…
Im Rahmen des vorliegenden Projektes sollen historischen Pumpen- und Bewässerungssysteme recherchiert und vorgestellt werden (Archimedische Schraube, Hydraulischer Widder etc.). Auch einfache, robuste Handpumpensysteme oder solche im Solar- und/oder Windkraftbetrieb sollen in Aufbau, Technik und praktischem Einsatz vorgestellt und z.B. tabellarisch im Hinblick auf ihre Eignung im „langfristigen Entwicklungshilfebetrieb" bewertet werden.

Hochschule RheinMain • RheinMain University of Applied Sciences
Wiesbaden - Rüsselsheim - Geisenheim

UmweltManagement und Stadtplanung in Ballungsräumen (UMSB)

Bearbeitungspunkte:

1. Eigenständige Recherche bei Entwicklungshilfeorganisationen, Auswertung von Forschungsarbeiten, Dissertationen sowie Fach-Literatur-, Film-, Internet zum Thema „Wasserpumpen in der Entwicklungshilfe".
2. Neben den eigenständig recherchierten Pumpensystemen, sollten in jedem Fall folgende Systeme recherchiert, beschrieben und auf ihre Praxistauglichkeit untersucht werden: Archimedische Schraube, Hydraulischer Widder, Seilpumpen (Ropepumps, http://www.lifewater.ca/ndexdril.htm), emas flexi Pumpen und emas Bohrungen (emas-international, http://www.emas-international.de/index.htm), Fahrrad-Pumpenantrieb.
3. In einem Kapitel der Projektarbeit soll die Kombination verschiedener Regenerativer Energietechniken (Windkraft, Sonnenenergie, Biogas, Wasserkraft) zum Antrieb und Aufbau von Wasserversorgungs-/Bewässerungssystemen bearbeitet werden. Bezugsquellen, Funktion, Einsatzmöglichkeiten, Robustheit, Fehler- und Reparaturfreundlichkeit und damit Lebensdauer und Praxistauglichkeit der recherchierten Pumpensysteme sind in einer Exceltabelle zu erfassen und auszuwerten.
4. Da in einigen Entwicklungshilferegionen auf Grund felsiger Untergründe keine Wasserbrunnen gebohrt werden können, kommen Wasserpumpen dort weniger zum Einsatz. Vor diesem Hintergrund sind weitere Produkte mit angepasster Technologie zur Wasserversorgung in Entwicklungsländern zu recherchieren, z.B.: EMAS-Ferrozementank, EMAS-Regenwasserzisterne, EMAS-Wasserfilter, EMAS-Sanitärinstallationen, EMAS-Sonnenkollektor für Warmwasser, EMAS-Trockentoilette
5. Zusammenstellung von Material und Kosten für alle erforderlichen Komponenten einer kleinen, einfachen, mobil einsetzbaren Solar- und/oder Wind-Pumpstation. Dazu ggf. mit Firmen wie Wagner-Solar (http://www.wagner-solar.com)oder CONRAD (http://www.conrad.de/technik/solarpumpen.html)Kontakt aufnehmen, bzw. die Komponenten dort zusammenstellen. Siehe auch Solar-Buch von Wagner-Solar und andere Firmen.
6. Bezüglich der Wasserversorgung ist mindestens ein nachhaltig gelungenes und ein weniger gelungenes oder gescheitertes Entwicklungshilfeprojekt vorzustellen, die Gründe für Gelingen oder Scheitern sind am konkreten Projekt aufzuzeigen.
7. Ausblick und Vorschlag für die Bearbeitung noch offener Fragen in einem Folgeprojekt.

Präsentation und Abgabe des Projektes:

1mal digital als Worddatei (ggf „zusätzlich" als PDF !) auf CD-Rom
2mal Papierdruck
1mal Plakat-Ergebnispräsentation (Papier und Digitalversion)
1mal Powerpoint- Ergebnispräsentation (Digitalversion)

Ausgabe des Projektes: **01.09.2012**

Abgabe des Projektes: **28.02.2013**

Gliederung

1 Einleitung 1

2 Vorstellung verschiedener Pumpensysteme 4

2.1 Antriebsarten 4

2.1.1 Manueller Antrieb 5

2.2.2 Mechanisierter Antrieb 7

2.2 Historische Pumpen 13

2.2.1 Archimedische Schraube 13

2.2.1.1 Funktionsweise 14

2.2.1.2 Verwendung früher und heute 14

2.2.1.3 Weiterentwicklungen, Sonderformen 16

2.2.2 Hydraulischer Widder 19

2.2.2.1 Funktionsweise 20

2.2.2.2 Verwendung 21

2.2.2.3 Leistungsmerkmale 23

2.2.3 Schöpfpumpen 25

2.2.3.1 Geschichtlicher Hintergrund 25

2.2.3.2 Seil-und-Eimer-Schöpfwerk 26

2.2.3.3 „Bucket-Pump“ 27

2.2.3.4 Seilpumpe 28

2.2.3.5 Anmerkung zur Verwendung von Schöpfpumpen 30

2.3 Kolbenpumpen 30

2.3.1 Geschichtlicher Hintergrund 30

2.3.2 Funktionsweise 30

2.3.3 Verwendung 32

2.3.4 Vakuumkolbenpumpen 32

2.3.4.1 Handbetriebene Schwengelpumpe 33

2.3.4.2 Fuß- oder handbetriebene Pedalpumpen 35

2.3.5 „Direct Lift“-Pumpen 36

2.3.5.1 „High Lift“-Kolbenpumpen 37

2.3.5.2 „Direct Action“-Handpumpen 39

2.3.6 Druckpumpen 42

2.3.7 Anmerkung zum Antrieb von Hubkolbenpumpen 43

2.4 Membranpumpen 44

2.4.1 Funktionsweise 44

2.4.2 Verwendung 47

2.4.3 Vor- und Nachteile 47

2.4.4 Wartungsaktivitäten 48

2.5 Kreiselpumpen 49
2.5.1 Geschichtlicher Hintergrund 49
2.5.2 Funktionsweise 49
2.5.3 Vor- und Nachteile 51
2.5.4 Wartungsaktivitäten 51
2.5.5 Unterwasser(tauch)pumpen 52
2.5.6 Anmerkung 53
2.6 Kombinationssysteme mit regenerativen Energieerzeugungstechnologien 54
2.6.1 Windpumpen 54
2.6.1.1 Geschichtlicher Hintergrund 54
2.6.1.2 Funktionsweise 55
2.6.1.3 Aufbau 57
2.6.1.4 Anforderungen an Windpumpen zur Wasserförderung 59
2.6.1.5 Vor- und Nachteile 60
2.6.1.6 Wartungsaktivitäten 60
2.6.2 Solarpumpen 61
2.6.2.1 Geschichtlicher Hintergrund 61
2.6.2.2 Funktionsweise 62
2.6.2.3 Aufbau 65
2.6.2.4 Vor- und Nachteile 69
2.6.2.5 Wartungsaktivitäten 69
2.6.3 Anmerkung 70
2.7 Weitere Produkte mit angepasster Technologie zur Wasserversorgung 70
2.8 Übersichts-Tabelle der einzelnen Pumpensysteme zur Beurteilung der Nachhaltigkeit 72

3 Projekte zur Wasserförderung in der Entwicklungshilfe 73

3.1 Allgemeine Informationen zu Entwicklungshilfeprojekten im Wassersektor 73
3.2 Projekt-Beispiel BGR-Projekt „Verbesserung der Trinkwasserversorgung für die armen Bevölkerungsgruppen im Chaco von Paraguay“ 80
3.2.1 Örtliche Gegebenheiten und Ausgangssituation 80
3.2.2 Projektbeschreibung 84
3.2.3 Beurteilung der Nachhaltigkeit des Projekts 90
3.3 Projekt-Beispiel: Ingenieure ohne Grenzen "Solarwasserpumpen und autarkes Licht in Tansania" 92
3.3.1 Örtliche Gegebenheiten und Ausgangssituation 92
3.3.2 Projektbeschreibung 94
3.3.3 Beurteilung der Nachhaltigkeit des Projekts 99
3.4 Studie zur langfristigen Nachhaltigkeit von Wasserprojekten in Nepal 100
3.4.1 Rahmenbedingungen der Studie 100
3.4.2 Ergebnisse 101
3.4.2.1 Pumpen-Systeme 101

3.4.2.2 Management auf Gemeindeebene.....103
3.4.2.3 Wartung und Unterhaltung.....104
3.4.2.3 Auswirkungen der Projekte.....105
3.4.3 Fazit und Zusammenfassung.....106
3.4 Schlussfolgerungen, Ableitungen für die Praxis.....106

4 Beispiel für eine kleine einsetzbare Solarpumpstation.....107

5 Zusammenfassung.....109

6 Ausblick und offene Fragen.....110

7 Literaturverzeichnis.....111

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zusammenhänge zwischen verschiedenen Energiequellen und Antriebsmöglichkeiten für Pumpen
nach Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43, S. 143

Abb. 2: Beispiele für den Einsatz von Arbeitstieren zur Wasserförderung
Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43

Abb.3: Dieselmotor und Kreiselpumpe
Quelle: Brikké, Francois und Bredero, Maarten (2003): Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation, S. 68

Abb. 4: Windkraftbetriebene Pumpensysteme
Quelle: Okuni (2003): Pumping. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft

Abb. 5: Aufbau einer solarbetriebenen Pumpe
Quelle: Brikké, Francois und Bredero, Maarten (2003): Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation, S. 66

Abb.6: Archimedische Schraube
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Archimedische_Schraube

Abb. 7: Bewässerung in Ägypten um 1950
Quelle: http://www.hp-gramatke.de/pmm_physics/german/page0450.htm

Abb. 8: Nutzung der Hinterachse eines Autos zur Kraftübertragung für eine Zugtierbetriebene Archimedische Schraube
Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43

Abb. 9: Zulaufpumpen der Kläranale Idstein-Beuerbach nach dem Ur-Prinzip der Archimedischen Schraube
Quelle: Paul Guckelsberger (2011)

Abb.10: Schnitt einer offenen Schneckenpumpe
Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43

Abb. 11: Schnitt einer Exzenterschneckenpumpe
Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43, S. 85

Abb. 12: Archimedische Schraube mit Schlauch
Quelle: http://www.hydro-kosmos.de/anlage/archimed.htm

Abb. 13: Abb. 12: Mit Wasserdruck arbeitende Spiralpumpe
Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43

Abb. 14: Rohrplan eines Hydraulischen Widders

Quelle: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hydraulischer_Widder.gif&filetimestamp=20080223153855

Abb.15: Anlage eines Hydraulischen Widders

Quelle: Okuni Patrick (2003): Pumping. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 194

Abb.16: Parallel angeordnete Hydraulische Widder

Quelle: Watt S.B., 1974 in Okuni Patrick (2003): Pumping. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 196

Abb. 17a und b: Einsatz von Hydraulischen Widdern in einem Projekt in China

Quelle: https://www.atmosfair.de/index.php?id=322

Abb. 18: Europäisches Modell eines Hydraulischen Widders

Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43

Abb. 19: „Persisches Rad“

Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43

Abb. 20: Röhrenpumpwerk von Jacob Leupold

Quelle: Wilo Pumpenfibel (2009): Grundlagen der Pumpentechnik. S. 7

Abb. 21: Brunnen mit Seilwinde

Quelle: http://www.africaahead.org/wp-content/gallery/Zim/Water/DSC06265.jpg

Abb. 22: Schöpf-Konstruktion mit zwei Eimern und Flaschenzug

Quelle: Brikké, Francois und Bredero, Maarten (2003): Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation, S. 44

Abb. 23: Neu installierte „Bucket-Pump“

Quelle: http://www.igcp-grownet.org/images/faillaci.jpg

Abb. 24: Schema einer „Bucket-Pump“

Quelle: Brikké, Francois und Bredero, Maarten (2003): Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation, S. 45

Abb. 25: Betrieb einer Seilpumpe

Quelle: http://henkholtslag.nl/wp-content/uploads/2011/12/Rope-pump-Mozambique-Before.jpg

Abb. 26: Funktionsweise einer Seilpumpe

Quelle: http://www.ideas-at-work.org/images/IaW/WaterpumpAnimation.gif

Abb. 27 a, b, c Verschiedene Funktionsprinzipien von Kolbenpumpen

Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43

Abb. 28: Handbetriebene Kolbenpumpe in Burkina Faso

Quelle: Wateraid. http://www.wateraid.org/international/what_we_do/where_we_work/burkina_faso/examples_of_our_work_in_burkina_faso/default.asp

Abb. 29: Fußbetriebene doppeltwirkende Kolbenpumpe in Perú

Quelle: Betterplace.org. http://www.betterplace.org/de/projects/8566-200-pumpen-fur-mocupe#gallery

Abb. 30: Aufbau einer (historischen) handbetriebenen Vakuumkolbenpumpe

Quelle: Seitz, Steffen, Seminar „Illustrationsarten", Hochschule Merseburg. http://www.iks.hs-merseburg.de/~trwuser/?tag=trw

Abb. 31: Funktionsweise einer Vakuumkolbenpumpe

Quelle: Seitz, Steffen, Seminar „Illustrationsarten", Hochschule Merseburg. http://www.iks.hs-merseburg.de/~trwuser/?tag=trw

Abb. 32: Aufbau einer Pedalpumpe

Quelle: Betterplace.org. www.betterplace.org/de/projects/8566-200-pumpen-fur-mocupe#gallery

Abb. 33: Schematischer Aufbau einer Pedalpumpe

Quelle: Okuni Patrick (2003): Pumping. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 180

Abb. 34: „High Lift"-Kolbenpumpe (Typ 'Afridev ')

Quelle: S.K. Industries. http://www.skipumps.com/images/afridevuser1.jpg

Abb. 35: Schematischer Aufbau einer „High Lift"- Kolbenpumpe (Typ 'India Mark II')

Quelle: S.K. Industries. http://www.skipumps.com/images/hp2instal.jpg

Abb. 36: "Direct Action"-Handpumpe (Typ 'Nira AF-85')

Quelle : RWSN – Rural Water Supply Network. http://www.rwsn.ch/prarticle.2005-10-25.9856177177/prarticle.2005-10-26.2582788867/prarticle.2008-12-04.2105225472/prarticle.2009-02-05.1222876984

Abb. 37: Aufbau einer "Direct Action"-Handpumpe (Typ 'Nira AF-85')

Quelle : RWSN – Rural Water Supply Network. http://www.rwsn.ch/prarticle.2005-10-25.9856177177/prarticle.2005-10-26.2582788867/prarticle.2008-12-04.2105225472/prarticle.2009-02-05.1222876984

Abb. 38: Funktionsprinzip von Druckpumpen

Quelle: Okuni Patrick (2003): Pumping. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 183

Abb. 39: Grundlegende Funktionsweise einer Membranpumpe

Quelle: Okuni Patrick (2003): Pumping. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 184

Abb. 40: Bewässerung mittels Membranpumpe (Bangladesh)

Quelle: Banglapedia. http://www.banglapedia.org/Images/IrrigationDiaphragmPump.jpg

Abb. 41: Prinzip einer Membranpumpe

Quelle: Lemser, Dieter (2006): Pumpen im Baubetrieb. In: BG Bau – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (Hrsg.): Tiefbau 7 / 2006, S. 400

Abb. 42: Betrieb einer pedalbetriebenen Membranpumpe

Quelle: Vergnet Hydro. http://www.vergnet-hydro.com/images/stories/pdf/EN/documents/VHY-Benin-en.pdf

Abb. 43: Schematischer Aufbau einer „Hydro-Pumpe“

Quelle: WaterAid: Technology Notes. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/technology_notes_07_web_1.pdf

Abb. 44: Schnitt und Prinzipskizze einer Kreiselpumpe

Quelle: Lemser, Dieter (2006): Pumpen im Baubetrieb. In: BG Bau – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (Hrsg.): Tiefbau 7 / 2006, S. 398

Abb. 45: Verschiedene Formen von Laufrädern in Kreiselpumpen

Quelle: Lemser, Dieter (2006): Pumpen im Baubetrieb. In: BG Bau – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (Hrsg.): Tiefbau 7 / 2006, S. 398

Abb. 46: Fahrradantrieb einer Kreiselpumpe

Quelle: http://www.mayapedal.org/construction_photos.pdf [17.02.2013]

Abb. 47: Installation einer Unterwasserpumpe

Quelle: http://www.solution4africa.com/images/products/submersible-pump.jpg

Abb. 48: Aufbau einer Unterwasserpumpe

Quelle: UNICEF (2010): WASH Technology Information Packages – for UNICEF WASH Programme and Supply Personnel. S. 143 (geschützt, © Skat)

Abb. 49: Förderprinzip einer Drehkolbenpumpe

Quelle: http://www.fristam.de/cms/upload/download/05d.pdf

Abb. 50: Briefmarke mit Amerikanischer Farm-Windpumpe

Quelle: http://1.bp.blogspot.com/_VeRfBjQAhx0/RaTBi5yf3vI/AAAAAAAAAF4/mr_uUiaE8PY/s400/21.jpg

Abb. 51: Skizze einer Chinesischen Segel-Windpumpe

Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43, S. 203

Abb. 52: Verschiedene Windpumpen-Aufbauten

Quelle: FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43, S. 210

Abb. 53: Installation einer Windpumpe (Marke Poldaw)
Quelle: Poldaw Windpumps. http://tribology.co.uk/5largepicture.htm

Abb. 54: Übersicht über verschiedene Rotor-Typen
Quellen: Hofkes, E. H. und Visscher, J. T. (1986): Renewable Energy Sources for rural water supply. S. 91, Technical Paper 23. Hrsg.: IRC. S. 91 und http://www.elite.tugraz.at/Jungbauer/pics/Image248.gif

Abb. 55: Verschiedene übliche Anordnungen solarbetriebener Pumpensysteme
Quelle: *Hofkes, E. H. und Visscher, J. T. (1986): Renewable Energy Sources for rural water supply. S. 69 - 70*

Abb. 56: Mögliche Energieverluste in einem typischen Solarpumpensystem
Quelle: *UNICEF (2010): WASH Technology Information Packages – for UNICEF WASH Programme and Supply Personnel. S. 123 (geschützt)*

Abb. 57: Modulpreise (März 2012)
Quelle: http://www.solarbuzz.com/sites/default/files/facts_figs/modules_table_03_0.png

Abb. 58: Preisentwicklung für Solarmodule 2001 – 2012
Quelle: http://www.solarbuzz.com/sites/default/files/facts_figs/modules_trend_03_0.png

Abb. 59: Umrüstung einer Handkolbenpumpe auf Solarbetrieb
Quelle: http://www.gwe-gruppe.de/de/products/our_products/pumps/solar_pumps/

Abb. 60: Schematische Darstellung einer solarbetriebenen Hubkolbenpumpe
Quelle: http://www.bohner-sondermaschinen.de/assets/images/Bohner_Hubkolbenpumpe.jpg

Abb. 61: kommunale Regenwassersammelbecken in Kenia
Quelle: Deutsche Welthungerhilfe e.V. (2011): Jeder Tropfen ist Leben. Sauberes Wasser für alle stellt eine der größten globalen Herausforderungen dar. In: Welthungerhilfe – Das Magazin, Ausgabe 2 / 2011; S. 13

Abb. 62: Felsregenfang und Sammelbecken in Ukambani
Quelle: http://www.welthungerhilfe.de/uploads/pics/welthungerhilfe-eberle-kenia-wasserfaenge-456.jpg

Abb. 63: Prinzip der EMAS-Regenwasserzisternen
Quelle: http://www.emas-international.de/index.php?id=55

Abb. 64: Oberirdischer Teil der Zisterne mit EMAS-Flexi-Pumpe
Quelle: http://www.emas-international.de/uploads/pics/technik-ueberblick/zisterne.jpg

Abb. 65: Konzeptuelle Grundstruktur eines effektiven, extern unterstützten gemeindebasierten Managements ländlicher Wasserversorgungssysteme
nach http://www.wateraid.org/~/media/Publications/sustainability-framework.pdf

Abb. 66: Lage des Chaco in Paraguay

Quelle: Hoyer von, Michael und Godoy V. Eugenio (1998): Methods fort he Improvement of the Water Supply in the Chaco of Paraguay. S. 1

Abb. 67: Typische Wohnhütte der indigenen Bevölkerung des Chaco

Quelle: Junker, Martin und von Hoyer, Michael (1998): Verbesserung der Trinkwasserversorgung für die armen Bevölkerungsgruppen im Chaco von Paraguay. In: Zeitschrift für Angewandte Geologie 44 (1998) 2, S. 101

Abb. 68: Bildung einer Süßwasserlinse durch die Versickerung von Regenwasser

Quelle: Junker, Martin und von Hoyer, Michael (1998): Verbesserung der Trinkwasserversorgung für die armen Bevölkerungsgruppen im Chaco von Paraguay. In: Zeitschrift für Angewandte Geologie 44 (1998) 2, S. 102

Abb. 69: Zisterne mit vorgeschaltetem Langsam-Wasserfilter

Quelle: Quelle: Junker, Martin und von Hoyer, Michael (1998): Verbesserung der Trinkwasserversorgung für die armen Bevölkerungsgruppen im Chaco von Paraguay. In: Zeitschrift für Angewandte Geologie 44 (1998) 2, S. 104

Abb. 70: Ausschachten eines Brunnens in Handarbeit

Quelle: http://www.betterplace.org/paperclip/000/274/970/default_Wasserproblem.jpg

Abb. 71: Windpumpe über einem gemauerten Brunnen

Quelle: Quelle: Junker, Martin und von Hoyer, Michael (1998): Verbesserung der Trinkwasserversorgung für die armen Bevölkerungsgruppen im Chaco von Paraguay. In: Zeitschrift für Angewandte Geologie 44 (1998) 2, S. 106

Abb. 72: Lage der Region Kitandililo in Tansania

Quelle: http://ilembula.de/wp-content/uploads/2012/09/Tansania_map.jpg

Abb. 73: Vorherige Wasserversorgung der Krankenstation

Quelle: http://www.tanzaniahilfe-ismaning.de/images/dispensary/dispensary05.jpg

Abb. 74: Seil- und Eimer-Schöpfwerk am zweiten Brunnen

Quelle: http://www.ingenieure-ohne-grenzen.org/var/iog/storage/images/projekte/projekte-in-der-erkundungsphase/tansania-solarwasserpumpen-und-autarkes-licht/80261-4-ger-DE/Tansania-Solarwasserpumpen-und-autarkes-Licht_medium.jpg

Abb. 75: Halterung der Pumpe aus lokal verfügbaren Materialien

Quelle: http://reiseberichte.rastlos.com/sites/reiseberichte.rastlos.com/files/fotouploads/Caro%20und%20Flo/PA174998_1280x960.JPG

Abb. 76: Ummantelung der zweiten Solarpumpe

Quelle: http://reiseberichte.rastlos.com/sites/reiseberichte.rastlos.com/files/fotouploads/Caro%20und%20Flo/DSCF0446_1280x960.JPG

Abb. 77: Befestigung der zweiten Solarpumpe

Quelle: http://www.lorentz.de/references/africa/tanzania/kitandilio/water-pumping-kitandilio-01.jpg

Abb. 78: Inspektion des Brunnens am Gemeindezentrum

Quelle: http://reiseberichte.rastlos.com/sites/reiseberichte.rastlos.com/files/fotouploads/Caro%20und%20Flo/DSCF0295.JPG

Abb. 79: Bau der Unterkonstruktion durch Gemeindemitglieder

Quelle: http://reiseberichte.rastlos.com/sites/reiseberichte.rastlos.com/files/fotouploads/Caro%20und%20Flo/DSCF0456_1280x960.JPG

Abb. 80: Fertigstellung des Pumpensystems

Quelle: http://reiseberichte.rastlos.com/sites/reiseberichte.rastlos.com/files/fotouploads/Caro%20und%20Flo/Geschafft!!!.JPG

Abb. 81: Zustand der Wasserstellen

Quelle: NEWAH – Nepal Water for Health (2006): Long Term Sustainability Study (LTSS) Findings. (geschützt)

Abb. 82: Begutachtung einer funktionierenden Pumpe

Quelle: Adhikari, Barun Kanta und Bhattarai, Shashi (2010): Long term sustainability monitoring – WaterAid's experience in Nepal. Discussion Paper. WaterAid Nepal.

Abb. 83: nicht mehr funktionierende Pumpe im Sapatari Distrikt. Die Pumpe wurde 1999 installiert.

Quelle: Adhikari, Barun Kanta und Bhattarai, Shashi (2010): Long term sustainability monitoring – WaterAid's experience in Nepal. Discussion Paper. WaterAid Nepal.

Abb. 84: Fortbildung eines Wasserkomitees

Quelle: NEWAH – Nepal Water for Health (2006): Long Term Sustainability Study (LTSS) Findings. (geschützt)

Abb. 85: Existenz eines Pumpenbeauftragten

Quelle: NEWAH – Nepal Water for Health (2006): Long Term Sustainability Study (LTSS) Findings. (geschützt)

Abb. 86: Wissen der Nutzer bzgl. Ort und Höhe der finanziellen Rücklagen

Quelle: NEWAH – Nepal Water for Health (2006): Long Term Sustainability Study (LTSS) Findings. (geschützt)

Abb. 87: Aufbau eines Solarpumpensystems

Quelle: http://www.wagner-solar.com/images/strom/inselanlage/system03-solarbrunnen.jpg

Abb. 88: Bestandteile eines Solarpumpensytems:

a Regelelektronik und Pumpe

Quelle: http://www.wagner-solar.com/images/strom/inselanlage/unterwasserpumpensysteme.jpg

b Solarmodul

Quelle: http://www.wagner-solar.com/images/strom/module/hyundai-his-m.jpg

c Batterie

Quelle: http://www.solartechnik-shop.de/images/dryfit-solarbatterien-130.jpg

d Wechselrichter

Quelle: http://www.solartechnik-shop.de/images/sinuswechselrichter.jpg

1 Einleitung

Wasser ist der wichtigste Rohstoff der Erde und kann als Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen nicht ersetzt werden (Wikipedia: Trinkwasser 2012, Struckmeier 2003).

Zwar sind 70% der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt, aber lediglich bei 2,5% der globalen Wasserressourcen handelt es sich um Süßwasser (ca. 35 Mio. km^3). 69% des Süßwassers sind in Schnee und Eis gebunden, weniger als 0,5% verteilen sich auf Seen, Flüsse und Stauseen, und etwas mehr als 30% bilden die unterirdischen Grundwasserressourcen (ca. 10,5 Mio. km^3) (Struckmeier 2003).

Weltweit wird im Jahresmittel mit einem gesamten erneuerbaren globalen Wasserdargebot von 43.000 km^3 gerechnet, dennoch herrscht in vielen Regionen der Welt Wassermangel (Struckmeier 2003, Deutsche Welthungerhilfe 2011). Dies ist vor allem in den Trockenzonen der Erde sowie Südasien und dem Süden Afrikas der Fall, jedoch zunehmend auch in weiteren Regionen. So kann derzeit in 30 Ländern von akuter Wasserknappheit gesprochen werden. Am stärksten von der zunehmenden Verknappung der kostbaren Ressource betroffen sind arme Menschen in Entwicklungsländern. Keine ausreichende Wasserver- und Entsorgung ist zum einen ein Problem rasant wachsender Metropolen (hier vor allem schnell wachsender Randgebiete und Armenviertel), in erster Linie ist aber die Bevölkerung ländlicher Gebiete betroffen (Struckmeier 2003, Deutsche Welthungerhilfe 2011). Im Extrem führt Wassermangel hier zu Hungersnöten, da die Ernte nicht bewässert und das Vieh nicht getränkt werden kann. Aber auch im alltäglichen Leben muss das knappe Gut täglich oft kilometerweit zur Gemeinde transportiert werden – eine Aufgabe die meist traditionell Frauen und Kindern zufällt. Neben der starken körperlichen Belastung fehlt so die Zeit für andere Tätigkeiten innerhalb der Familie oder Gemeinde und für einen Schulbesuch der Kinder. Auch stammt das Wasser oft aus nicht gesicherten und verunreinigten Wasserstellen und kann nur in relativ geringen Mengen herbeigebracht werden. Denn für die Versorgung der Menschen kommt es sowohl auf die Menge des zugänglichen Wassers an, als auch auf seine Qualität (Deutsche Welthungerhilfe 2011). So stehen laut WHO 80% aller Infektionskrankheiten in Zusammenhang mit unsauberem oder ungenügendem Wasser. Dies sind neben Durchfallerkrankungen, die in Entwicklungsländern eine der Hauptursachen für den Tod von Kindern unter fünf Jahren darstellen, weitere wasserbürtige Erkrankungen wie Cholera, Typhus und parasitäre Erkrankungen sowie wasserinduzierte Krankheiten, die durch wasserbrütende Insekten übertragen werden, wie z.B. Malaria und Dengue-Fieber (Wijk-Sijbesma van 2003). Noch immer sterben jedes Jahr etwa 3,5 Mio. Menschen weltweit an den Folgen schlechter Wasserversorgung (Möller, Gardizi 2012). Neben der Wasserqualität ist gerade bei der Bekämpfung von Durchfallerkrankungen laut aktueller Studien die Menge verfügbaren Wassers fast von größerer Bedeutung, da diese die Grundvoraussetzung für jegliche Hygienemaßnahmen darstellt. Eine sichere, ausreichende und zugängliche Wasserversorgung kombiniert mit geeigneten Abwasserentsorgungssystemen sind sowohl essentielle Komponenten der grundlegenden Gesundheitsvorsorge als auch der sozioökonomischen Entwicklung und somit elementare Basis funktionierender moderner Gesellschaften und Staaten (Wijk-Sijbesma van 2003).

Vor diesem Hintergrund nahm die UN-Vollversammlung 2010 einstimmig den Zugang zu sauberem Trinkwasser und sanitärer Grundversorgung in den Katalog der Menschenrechte auf (Deutsche Welthungerhilfe 2011). Die Halbierung des Anteils der Menschen ohne dauerhaft gesicherten Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser (von 65 Prozent auf 32 Prozent) bis 2015 stellt außerdem eines der Millenium-Entwicklungsziele (Millenium Development Goals, MDGs) der Vereinten Nationen dar, die 2001 formuliert wurden (Wikipedia: Millenium-Entwicklungsziele 2012, Struckmeier 2003). Im Weltwasserbericht 2012 meldet die UNESCO die Erreichung letzteren Milleniumsziels. So haben inzwischen 89% der Weltbevölkerung Zugang zu sauberem Trinkwasser. Rund 884 Mio. Menschen haben nach Angaben von WHO und UNICEF dennoch nach wie vor kein sauberes Wasser (Möller, Gardizi 2012). In mehreren Ländern Afrikas liegt der Prozentsatz der Menschen ohne Zugang sogar bei ca. 20 bis 50% (WHO 2010).

Auch gibt es kritische Stimmen zu den vorliegenden Zahlen, die den Charakter der Millenium-Entwicklungsziele in Form quantitativer Ziele hinterfragen. Der Vorteil quantitativer Ziele liege zwar in einer guten Messbarkeit der gemachten Fortschritte, ein Nachteil sei allerdings, dass dadurch das Erreichen schneller, gut in Zahlen erfassbarer Resultate gefördert werde, ohne zwingend deren Nachhaltigkeit mit einzubeziehen. So liege derzeit der Fokus auf dem Zugang zu Wasserversorgungseinrichtungen, wobei deren Qualität, Zuverlässigkeit, Nutzung etc. nur ungenügend beachtet werde. Trotz des Erreichens des Ziels dürfe nicht vergessen werden, dass die große Herausforderung der nächsten Jahre darin bestehe, die Institutionen, politischen Rahmenbedingungen und Kapazitäten für den kontinuierlichen Betrieb der Wasserversorgungs-Infrastruktur zu schaffen (Schouten, Moriarty 2005).

„Nachhaltigkeit“ ist eines der viel verwendeten Schlüsselwörter im Hinblick auf den weltweiten Umgang mit der Ressource Wasser sowie speziell im Bezug auf Wasserversorgungs-Programme und -Projekte der internationalen Entwicklungszusammenarbeit. Laut gängiger Definitionen bezeichnet eine nachhaltige Entwicklung „die Verbesserung der Qualität menschlichen Lebens innerhalb der Tragfähigkeit der tragenden Ökosysteme“ bzw. eine „Entwicklung, die den Bedürfnissen der jetzigen Generation dient, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen“ (Kanta, Bhattarai 2010, Wikipedia: Nachhaltige Entwicklung 2012). Eine nachhaltige Nutzung des Wassers ist wesentlich für eine tragfähige gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung weltweit (Möller, Gardizi 2012).

Diesbezüglich bestehen die größten aktuellen Herausforderungen darin, die weltweite Bewirtschaftung der Wasserressourcen nachhaltig zu gestalten sowie eine dauerhafte Versorgung der Bevölkerung mit sauberem Trinkwasser sicherzustellen.

Derzeit steigt weltweit die Nachfrage nach Wasser durch steigenden Wohlstand und Technisierung, Veränderung der Ernährungsgewohnheiten und Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion bei gleichzeitiger Abnahme der verfügbaren Wasserressourcen durch Übernutzung oder Verschmutzung (Patalong 2011, Struckmeier 2003). Durch diese gegenläufige Entwicklung wird das Grundwasser als größte Süßwasserressource verstärkt beansprucht. Das gilt vor allem in Trockengebieten, in denen die heutige Grundwasserneubildung auch ohne negative Einflüsse einer Klimaänderung schon sehr gering ist, und in denen oft aus erdgeschichtlich früheren Zeiten nicht erneuerbare, fossile Süßwasserressourcen im tiefen Untergrund lagern. Die Nutzung von Grundwasser sowie fossilen Grundwasserreserven für Bewässerungszwecke in semi-ariden und ariden Gebieten lag 2003 bereits bei 30% mit steigender Tendenz. Die globale Wasserentnahme verteilt sich derzeit zu 70% auf die Landwirtschaft, 20% auf die Industrie und 10% auf private Haushalte (Kunstmann 2007). Zusätzlich haben Fortschritte in der Bohr-, Brunnenbau- und Pumpentechnik sowie zunehmende Elektrifizierung im ländlichen Raum dazu beigetragen, immer mehr Grundwasser ohne ausreichende Planung zu nutzen. Zur Sicherung einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung ist deshalb ein angepasstes und zukunftweisendes Grundwassermanagement von großer Wichtigkeit. Somit stellen zum einen vorherige Untersuchungen zur Menge und Qualität der Grundwasservorkommen und auf Modellierungen basierende Managementpläne mit Überwachungsmaßnahmen und zum anderen angepasste Pumpensysteme wichtige Bedingungen für die Nachhaltigkeit von Entwicklungshilfeprojekten zur Wasserförderung dar (Struckmeier 2003).

Weiter zeigen langjährige Erfahrungen in der Internationalen Zusammenarbeit, dass ein großer Teil der Wasserprojekte auf lange Sicht scheitern, indem die Wasserversorgungseinrichtungen oft schon nach relativ kurzer Zeit nicht mehr in Benutzung sind. So ergab eine Untersuchung von WaterAid und Nepal Water for Health (NEWAH) 2005 in Nepal, dass 20% der installierten Wasserstellen außer Funktion und 50% reparaturbedürftig waren. Eine 2009 ebenfalls von WaterAid durchgeführte Studie in Tanzania zeigte, dass dort sogar 46% der öffentlichen Wasserentnahmestellen außer Betrieb waren; 25% bereits zwei Jahre nach Installation (Kanta, Bhattarai 2010, Taylor 2009).

Die Gründe hierfür sind vielfältig, stehen aber meist im Zusammenhang mit der gewählten Technologie zur Wasserförderung und -verteilung.

Bislang wurden Wasserprojekte häufig von außen angetragen, ohne die Bevölkerung der jeweiligen Gemeinden mit einzubeziehen. Somit orientierte sich auch die Wahl der Technologie oft nicht an den Bedürfnissen der Gemeinde oder den lokalen Gegebenheiten. Große Unterschiede zwischen einzelnen Gemeinden hinsichtlich ihrer räumlichen Gegebenheiten, Sozial- und Führungsstrukturen, Wirtschaftsformen, Nutzergruppen und -ansprüchen wurden hierbei ebenso meist außer Acht gelassen (Wijk-Sijbesma van 2003). Auch werden Entwicklungshilfeprojekte im Wassersektor vielerorts von einer Vielzahl verschiedener Organisationen mit unterschiedlichen Wasserfördertechnologien, Vorgehensweisen und Philosophien durchgeführt, anstatt in Form übergreifender Programme auf regionaler politischer Ebene mit einheitlicher Grundstruktur. Solche Projekte kreieren häufig abgeschlossene „Inseln in Zeit und Raum“, die lediglich aus dem Bau der Anlage an einem einzelnen Ort während einer bestimmten Zeit bestehen (Schouten, Moriarty 2005). Nach Fertigstellung der Wasserstelle bzw. -pumpe wird die Gemeinde häufig damit allein gelassen, ohne Strukturen zu deren Management und Instandhaltung sowie Finanzierung etwaiger Reparaturen herauszuarbeiten. Diese fühlt sich somit zum einen nicht verantwortlich für die Pumpe und deren Instandhaltung, zum anderen fehlt es an Kenntnissen für Reparaturen und / oder an Möglichkeiten, an Ersatzteile zu gelangen (Breslin 2003, Wijk-Sijbesma van 2003, Okuni 2003).

Neuere Ansätze liegen in der stärkeren Einbeziehung der lokalen Bevölkerung in Technologiewahl und Management sowie der Nachfrageorientierung (Demand Responsive Approach – DRA) für die Initiierung von Projekten (siehe Kapitel 3.1).

Ein wichtiger Punkt bei der Wahl einer geeigneten Technologie liegt im Antrieb des Pumpensystems. Die Technologie der Wasserförderung entwickelte sich parallel zur Entwicklung der nutzbaren Energiequellen. So haben beispielsweise moderne Kreiselpumpen einen hohen Entwicklungsstatus erreicht und sind speziell in den Industrienationen weit verbreitet, da hier geeignete Energiequellen wie Dieselantrieb und Elektromotoren zur Verfügung stehen. Für kleine Gemeinden in Entwicklungsländern ist die Muskelkraft von Mensch oder Tier häufig die am einfachsten verfügbare Energiequelle zum Pumpen von Wasser; besonders in ländlichen Gegenden. Bei geeigneten Bedingungen ist Windkraft ebenfalls eine Möglichkeit, und auch Solarenergie kann Potential besitzen. Dieselantriebe und Elektromotoren sollten nur eingesetzt werden, wenn entsprechender Kraftstoff oder Elektrizität dauerhaft erhältlich sind, gemeinsam mit adäquater Unterhaltung und Ersatzteilen. Auf dem Markt gibt es ein großes Angebot an verschiedenen Pumpentypen. Das am besten geeignete und nachhaltigste Pumpensystem ergibt sich aus den jeweiligen lokalen Bedingungen und Instandhaltungskapazitäten (Okuni 2003).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Rolle der Pumpenwahl für die Nachhaltigkeit von Entwicklungshilfeprojekten zur Wasserversorgung vor dem Hintergrund der ressourcenangepassten Förderung sowie der dauerhaften Nutzbarkeit für die Bevölkerung. Es soll ein Überblick über verschiedene Pumpensysteme unter Nachhaltigkeits-Gesichtspunkten gegeben werden.

Dafür werden im nachfolgenden Kapitel verschiedene Pumpensysteme sowie weitere Technologien zur Wasserversorgung beschrieben und im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit miteinander verglichen. Des Weiteren werden verschiedene Wasserprojekte vorgestellt, ihre Nachhaltigkeit diskutiert und Empfehlungen für die Praxis abgeleitet.

2 Vorstellung verschiedener Pumpensysteme

Pumpen sind Arbeitsmaschinen und sollen einen bestimmten Förderstrom Q [l/s, m^3/h...] auf eine bestimmte Förderhöhe H [m] bringen. Q und H sind die sog. Leistungsdaten. Dabei wird in der Praxis von einer konstanten Dichte des Fördermediums Wasser ausgegangen ρ = 1[kg/l] (Eckhardt 2010).

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Pumpensysteme vorgestellt. Für die Wahl eines nachhaltigen, an die entsprechenden Gegebenheiten angepassten Pumpensystems sind verschiedene Aspekte von Bedeutung. Neben der Kosteneffizienz, die sowohl die Anschaffungskosten als auch die Betriebs- und Unterhaltungskosten umfasst, sind dies Pumpleistung und Fördermenge, Bedienfreundlichkeit, Ersatzteilverfügbarkeit, Fehlertoleranz, Robustheit, Langlebigkeit, Wartungs- und Verschleißteilarmut, Reparaturfreundlichkeit, Fremdenergieunabhängigkeit, eine einfache Installation und die Diebstahlsicherheit (FAO 1986, NWP 2006). Für eine nachhaltige Nutzung des Pumpensystems ist es wichtig, die jeweilige Kommune mit einzubeziehen. Diese sollte mit fachlicher Unterstützung und Darlegung der Vorteile, Nachteile und Auswirkungen selbst aus einer Anzahl von Pumpensystemen wählen können (Brikké, Bredero 2003). Eine wichtige Bedeutung bei der Wahl der Pumpe kommt auch deren Antrieb zu. Deshalb werden vorab auch unterschiedliche Antriebsmöglichkeiten behandelt und unter Kapitel 2.6 auf verschiedene Kombinationen von Pumpensystemen mit Techniken regenerativer Energiegewinnung näher eingegangen. Weiter werden neben den verschiedenen Pumpensystemen Produkte mit angepasster Technologie zur Wasserversorgung für Orte, an denen Brunnenbohrungen nicht möglich sind, vorgestellt.

2.1 Antriebsarten von Pumpensystemen

Um Wasser von einem Niveau auf ein höher gelegenes zu befördern, wird ein Antrieb benötigt. Dieser kann auf der Muskelkraft von Mensch oder Tier basieren, auf Nutzung der Schwerkraft oder auf Energie aus fossilen oder regenerativen Quellen. Abb.1 liefert einen Überblick über die unterschiedlichen Primärenergiequellen und die verschiedenen Nutzungsstufen der Energie bis hin zur Wasserförderung mittels Pumpen.

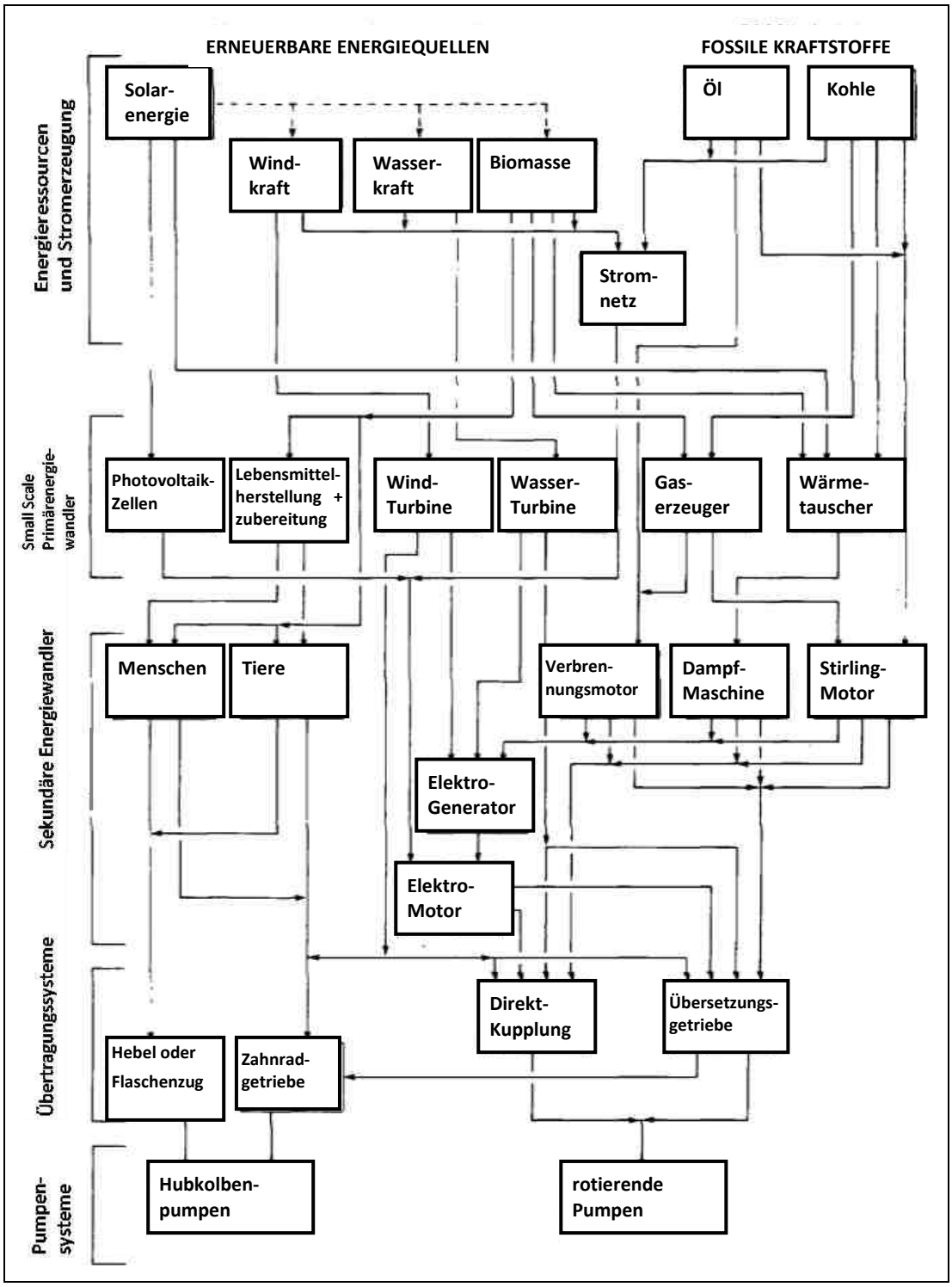


Abb. 1: Zusammenhänge zwischen verschiedenen Energiequellen und Antriebsmöglichkeiten für Pumpen

2.1.1 Manueller Antrieb

Menschliche Muskelkraft

Die einfachsten Pumpensysteme sind die mit menschlicher Muskelkraft betriebenen Pumpen. In diese Kategorie fallen eine Reihe von Hand- und fußbetriebenen Pumpen. Dabei stehen sich folgende Vor- und Nachteile gegenüber:

Vorteile

- Verfügbarkeit der erforderlichen Energie / Arbeitskraft innerhalb der Gemeinde
- kein Fremdenergiebedarf > fremdenergieautark
- geringer Kapitalaufwand
- gewöhnlich ausreichende Entnahmekapazität, um den häuslichen Wasserverbrauch einer kleinen Gemeinde zu decken, sowie ggfls. Produktionstätigkeiten in kleinem Rahmen zu ermöglichen
- Reparatur und Unterhaltung (nach Einweisung) meist von lokalen Verantwortlichen durchführbar
- sorgsamer Umgang mit der Ressource Wasser, keine Verleitung zu Wasserverschwendung

Nachteile

- geringe Förderleistung / -menge
- körperliche Anstrengung, evtl. schlechte Bedienbarkeit durch schwangere Frauen, Kinder und Alte (z.B. Fußpumpen)
- im Vergleich mit mechanisiertem Antrieb geringe Effizienz (Leistung (W) / Zeit (h))
- hoher Arbeitsaufwand
- für die Förderung größerer Mengen Wasser (z.B. für landwirtschaftliche Bewässerung) nur bedingt geeignet, da geringe Produktivität
- vergleichsweise hoher Preis menschlicher Arbeitskraft bei ganzheitlicher Betrachtung unter Einbeziehung der Energiezufuhr mittels Nahrung

Tierische Muskelkraft

In vielen Entwicklungsländern sind Zugtiere weit verbreitet und übernehmen wesentliche Arbeitsaufgaben. So wurden in den 1980er Jahren weltweit schätzungsweise noch 200 Millionen Arbeitstiere in Entwicklungsländern für Arbeitsaufgaben eingesetzt. Tiere werden dabei sowohl zur Förderung von Wasser zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen als auch zur Trinkwasserförderung eingesetzt. Häufig sind dies Vorrichtungen, bei denen die Tiere im Kreis gehen und durch Zug- oder Schubkraft einen Antrieb für langsame große Verdrängerpumpen bewegen. (FAO 1986, Okuni 2003)

Vorteile

- Erleichterung des Arbeitsaufwands für die Menschen
- größere Muskelkraft / Arbeitsleistung
- kein Fremdenergiebedarf

Nachteile

- Nahrungs- und Wasserbedarf der Tiere
- ggfls. Anschaffungskosten
- tierschützerische Aspekte
- mögliche krankheitsbedingte Ausfälle

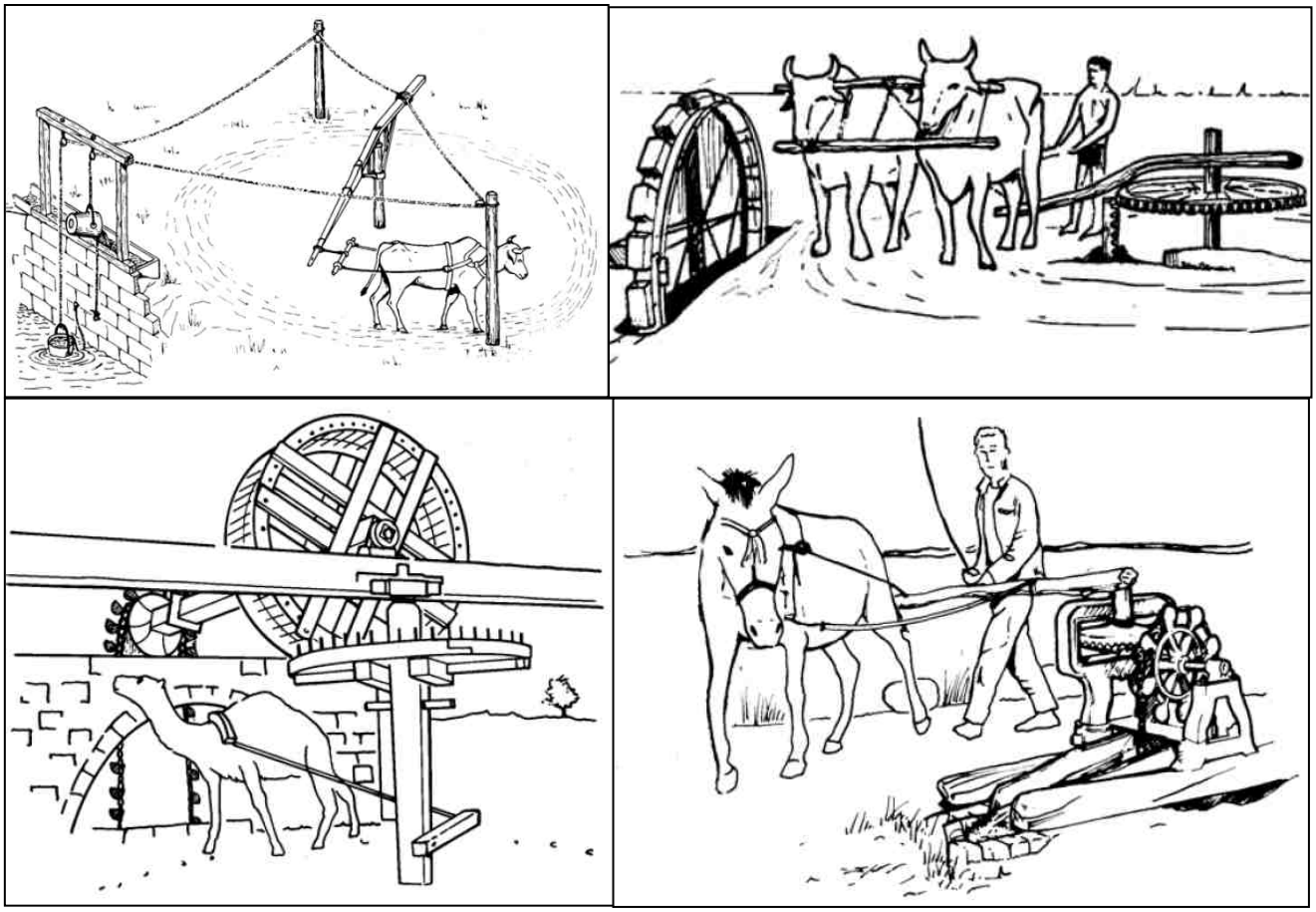


Abb. 2: Beispiele für den Einsatz von Arbeitstieren zur Wasserförderung

2.2.2 Mechanisierter Antrieb

Um den weltweit steigenden Wasserbedarf zu decken, sind vielerorts zunehmend mechanisierte Wasserförderungstechniken notwendig. Besonders der Einsatz von Pumpensystemen für großflächigere Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen zur Ernährungssicherung ist ohne mechanisierten Antrieb kaum durchführbar. So war z.B. die weltweite Zunahme der bewässerten landwirtschaftlichen Fläche zwischen 1952 und 1972 um 70% nur durch den zunehmenden Einsatz von Diesel- und Elektromotoren in der Wasserförderung möglich (FAO 1986).

Elektromotoren

Seit den 1950er Jahren finden Elektromotoren zunehmend Verbreitung im Antrieb von Pumpensystemen. Sie erlauben wesentlich höhere Arbeitsleistungen und somit größere Fördermengen als mit Muskelkraft betriebene Systeme. Elektromotoren sind vor allem in Industrieländern im Einsatz, finden allerdings mit zunehmender Elektrifizierung auch in Entwicklungsländern eine weitere Verbreitung. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Motoren hier oftmals extremen Umweltbedingungen ausgesetzt sind und dafür ausgelegt sein müssen, um verlässlich eingesetzt werden zu können. Auch sollte der Motor entsprechend der Anforderungen des jeweiligen Pumpensystems gewählt werden, und seine Betriebslast auf den Energiebedarf der Pumpe ausgelegt sein. Wird dies nicht beachtet und Universalmotoren verwendet, kann es zu Ausfällen oder dem Ausbrennen des Motors kommen. Die zum Antrieb von Kreiselpumpen meist gewählten Motoren sind Käfigläufermotoren, die zu den einfachsten Elektromotoren zählen (Okuni 2003).

Generell weisen Elektromotoren folgende Vor- und Nachteile auf:

Vorteile

- Benutzerfreundlichkeit, keine körperliche Belastung der Nutzer
- im Vergleich zum Antrieb mittels Muskelkraft höhere Arbeitsleistung
- im Vergleich zu muskelkraftbetriebenen Pumpen größere Fördermengen
- kontinuierlicher Betrieb, Betrieb rund um die Uhr möglich
- im Vergleich zu Dieselmotoren weniger Wartung
- im Vergleich zu Dieselmotoren zuverlässiger

Nachteile

- Abhängigkeit von Fremdenergie (> Großkonzernen, evtl. Importeuren)
- direkte monetäre Kosten (Strom)
- Notwendigkeit einer verlässlichen, dauerhaften Stromversorgung (Versorgungszuverlässigkeit, Kostenstabilität)
- Infrastrukturabhängigkeit
- möglicher Ausfall durch Motorpanne, Beschädigung oder Verschleiß > ggfls. Reparaturen, Ersatzteilbeschaffung, Neuanschaffung nötig
- Verleitung zu übermäßigem Wasserverbrauch
- Gefahr der Übernutzung des Grundwasservorkommens durch größere Fördermengen
- technisches Basiswissen für Wartung und Reparatur erforderlich
- größere Verletzungsgefahr bei unwissendem / unsachgemäßem Umgang
- größere Pumpenausfallgefahr bei unwissendem / unsachgemäßem Umgang

Dieselmotoren

Wird ein maschineller Pumpenantrieb in abgelegenen Regionen ohne elektrische Stromversorgung benötigt, eignen sich hierfür Dieselmotoren besonders. Für den Betrieb werden lediglich Treibstoff und Schmierstoffe benötigt, die gut transportierbar sind. Daher sind Dieselmotoren auch besonders für den Betrieb isolierter Pumpeinheiten wie z.B. Rohwasserzulaufpumpen geeignet (Okuni 2003). Hauptbestandteile des Motors sind Zylinder, Kolben, Ventile und Kurbelwelle. Dabei wird Luft im Inneren des Zylinders durch einen Kolben verdichtet und Dieseltreibstoff mittels einer Hochdruckpumpe eingespritzt, was zu einer Explosion führt, die den Kolben bewegt. Der Kolben wiederum dreht eine Kurbelwelle, die so zum Antrieb eines Generators oder einer Pumpe benutzt werden kann. Dabei arbeiten Dieselmotoren mit wesentlich stärkerem Druck als z.B. Benzinmotoren, benötigen weniger Wartung als letztere und arbeiten effizienter. Unterschiede verschiedener Dieselmotoren liegen in der Größe (Zylinderanzahl), Drehzahl und der Taktzahl. Generell halten langsame Viertaktmotoren länger, während schnelle Zweitaktmotoren eine höhere Energie in Bezug auf das Motorengewicht produzieren (Brikké, Bredero 2003).

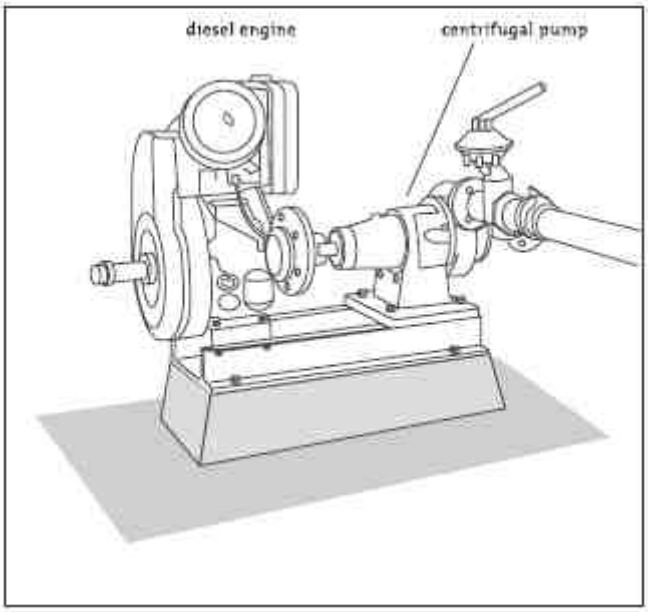


Abb.3: Dieselmotor und Kreiselpumpe

Sowohl Schwingkolbenpumpen als auch Kreiselpumpen können mittels Dieselmotoren betrieben werden. Die Verbindung zur Pumpe erfolgt dabei über ein Getriebe oder eine ähnliche Transmissionsvorrichtung. Generell hat es sich für dieselbetriebene Pumpensysteme bewährt, einen Motor mit 25 - 30% Zusatzleistung zu wählen, um schwerere Einsätze als unter Normalbedingungen zu erlauben (Okuni 2003). Die Lebensdauer eines Dieselgenerators beträgt zwischen 5.000 und 50.000 Arbeitsstunden, abhängig von der Qualität des Motors, einer korrekten Installation und der Durchführung von Wartungstätigkeiten (Brikké, Bredero 2003).

Vorteile

- keine körperliche Belastung der Nutzer
- im Vergleich zum Antrieb mittels Muskelkraft höhere Arbeitsleistung
- im Vergleich zu muskelkraftbetriebenen Pumpen größere Fördermengen
- kontinuierlicher Betrieb, Betrieb rund um die Uhr möglich
- Einsatz auch an abgelegenen Stellen ohne Stromzugang möglich
- Kraftstoff relativ einfach zu transportieren

Nachteile

- Abhängigkeit von Fremdenergie aus fossilen, endlichen Quellen
- direkte monetäre Kosten (Kraftstoff)
- evtl. schwierige Beschaffung des Kraftstoffs
- möglicher Ausfall durch Motorpanne, Beschädigung oder Verschleiß > ggfls. Reparaturen, Ersatzteilbeschaffung, Neuanschaffung nötig
- regelmäßige Wartung nötig
- technisches Basiswissen für Wartung und Reparatur erforderlich
- Betrieb und Wartung im Vergleich zu Elektromotoren komplizierter
- Verleitung zu übermäßigem Wasserverbrauch
- Gefahr der Übernutzung des Grundwasservorkommens durch größere Fördermengen

- Gefahr kleinräumiger Boden-/ Wasserverschmutzungen
- Luftverschmutzung, CO_2-Ausstoss, Klimawandel/Ökobilanz

Aufgrund zunehmend steigender Kraftstoff- und Energiekosten sind Elektro- und Dieselmotoren für arme kleinbäuerliche Gemeinden in Entwicklungsländern allerdings oftmals keine geeignete Option zum Antrieb der Wasserförderung, da die Kosten entweder die finanziellen Möglichkeiten der Gemeinde überschreiten oder den Gewinn aus dem Ertrag landwirtschaftlicher Produkte beträchtlich schmälern. Außerdem stellt der Betrieb von Pumpen mittels Energie aus fossilen und nichterneuerbaren Quellen aufgrund der abnehmenden fossilen Energiereserven auf Dauer keine nachhaltige Lösung dar. Deshalb ist es wichtig, nachhaltige Antriebsmethoden für mechanisierte Pumpensysteme nutzbar zu machen, die unabhängig von Öl oder einer zentralen Stromversorgung sind. Diese bieten zum Teil auch die Möglichkeit lokaler Produktion, und somit der Unabhängigkeit von Importen sowie einer Förderung der lokalen Wirtschaft (FAO 1986).

Hierbei liegt das Hauptaugenmerk auf der Nutzung regenerativer Energiequellen. Dabei beinhaltet die große Bandbreite der Möglichkeiten, Energie für das Pumpen von Wasser bereitzustellen, sowohl traditionelle Technologien wie Windräder als auch neuere Entwicklungen wie z.B. solarbetriebene Pumpen. Einige Technologien waren bislang auch nur in einigen Gebieten verbreitet wie z.B. eine mit Wasserkraft betriebene Turbinenpumpe, die lediglich in China weiträumig verwendet wird. Ebenfalls interessant sind neue Antriebstechnologien, die Pumpkraft aus der Verbrennung von Biomasse, aus Gas oder Dampf erzeugen können (FAO 1986).

Windkraft

In Gegenden, in denen ausreichend Wind herrscht, bieten Windräder eine attraktive Alternative zu anderen Antriebsarten, da hierfür keine Energiekosten entstehen. Dafür sind jedoch die Investitionskosten sehr hoch, und eine bessere Organisation sowie ein höheres Niveau an technischem Können für Betrieb und Instandhaltung erforderlich.

Gebräuchliche Modelle besitzen einen Rotor, der über eine horizontale Achse mit einem Stahlmast verbunden ist, dessen Höhe normalerweise 4,5 - 15m beträgt. Der Wind dreht den Rotor, und die Bewegung wird entweder direkt oder mittels eines Getriebes zum Antrieb einer Pumpe übertragen (meist eine Kolbenpumpe). Teilweise sind Vorkehrungen möglich, um in windstillen Perioden das Pumpen per Hand zu ermöglichen. Moderne Windräder sind so gebaut, dass sie während des Pumpvorgangs automatisch in den Wind drehen. Sie sind außerdem meist mit einer Vorkehrung ausgerüstet, die das Windrad automatisch aus starkem Wind herausnimmt, der das Windrad beschädigen könnte (z.B. 13 - 15m/s), manche sind manuell einstellbar, andere besitzen ein Bremssystem. Abb. 4 zeigt verschiedene typische Aufbauten von windbetriebenen Wasserfördersystemen.

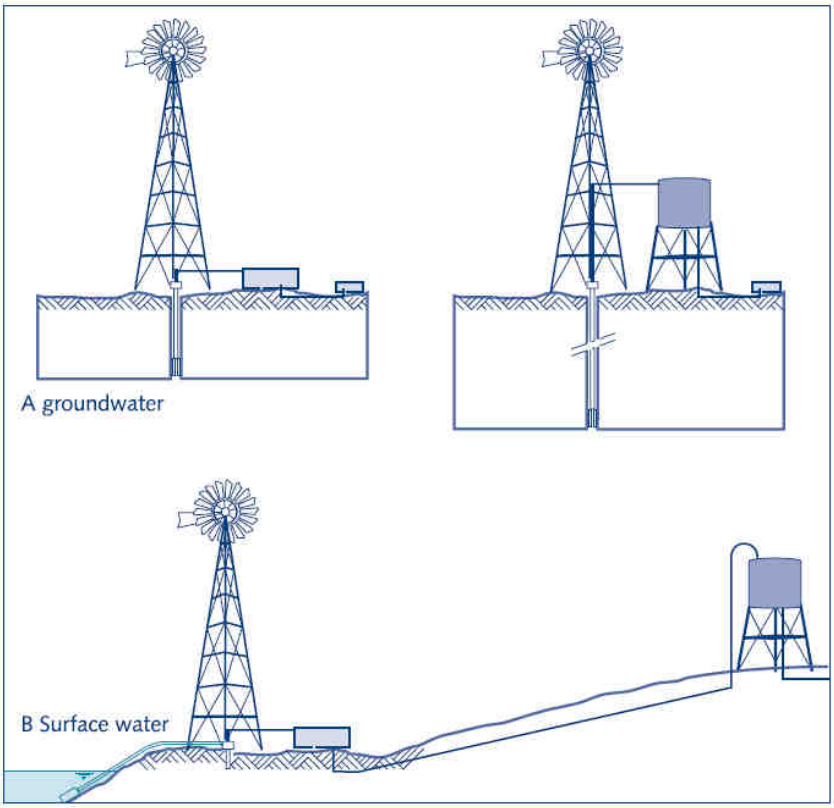


Abb. 4: Windkraftbetriebene Pumpensysteme

Für den Betrieb windangetriebener Pumpensysteme sind durchschnittliche Mindestwindgeschwindigkeiten von 2,5 - 3m/s nötig. Zumindest sollten diese mindestens 60% der Zeit vorhanden sein. Liegt die Geschwindigkeit unter 2m/s, reicht sie in den meisten Fällen nicht zum Pumpen aus, und viele Windräder lassen sich erst ab Durchschnittsgeschwindigkeiten von 3m/s wirtschaftlich betreiben. Zur Vorsorge für windstille Zeiträumen sollten Speichervorrichtungen für drei bis vier Tage errichtet werden. Bei Guter Wartung wird eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren erwartet (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003).

Generell bieten windbetriebene Pumpensysteme folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile

- fremdenergieautark
- keine körperliche Belastung der Nutzer
- im Vergleich zum Antrieb mittels Muskelkraft höhere Arbeitsleistung
- im Vergleich zu muskelkraftbetriebenen Pumpen größere Fördermengen
- emissionsfreier Betrieb
- Einsatz auch an abgelegenen Stellen ohne Stromzugang möglich
- ggfls. lokale Produktion (einfacher Windräder) möglich

Nachteile

- hohe anfängliche Investitionskosten
- Windabhängigkeit, unterschiedliche Leistung je nach Windstärke
- Verleitung zu übermäßigem Wasserverbrauch

- Gefahr der Übernutzung des Grundwasservorkommens durch größere Fördermengen
- wenig, aber recht spezielle Wartung erforderlich
- technische Kenntnisse für Wartung und Reparatur erforderlich > Ausbildung eines Zuständigen vor Ort
- wenig fehlerfreundlich, Fehler bei Betrieb oder Wartung können zu Schäden an der Anlage führen
- möglicher Ausfall durch Beschädigung oder Verschleiß > ggfls. Reparaturen und Ersatzteilbeschaffung nötig

Solarenergie

Solarbetriebene Pumpsysteme sind eine attraktive Option für abgelegene Gegenden, in denen die Strom- und Kraftstoffversorgung schwierig und teuer ist. Die einzige Voraussetzung ist eine ausreichende Sonneneinstrahlung. Photovoltaik- oder Solarzellen wandeln Sonnenlicht direkt in elektrische Energie um. Die kleinste am Markt erhältliche Basiseinheit ist das Modul, in dem mehrere Zellen unter einer Glasschicht zusammengefasst sind. Module können in Parallel- oder Serienschaltung zu Solargeneratoren zusammengefügt werden und müssen vollständig der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein. Der produzierte Strom kann entweder direkt für den Pumpbetrieb genutzt oder in Batterien gespeichert werden. Solarzellen erzeugen Gleichstrom, der entweder direkt zum Antrieb von gleichstrombetriebenen Pumpen eingesetzt werden kann oder zuerst in Wechselstrom umgewandelt werden muss, da die meisten verfügbaren Pumpensysteme auf einen Betrieb mit Wechselstrom ausgelegt sind. Letzteres bedeutet allerdings einen Energieverlust von bis zu 25%. Solarbetriebene Pumpen können Wasser über 100 - 200m Höhe fördern, die Wirtschaftlichkeit ist jedoch bei Höhen von bis zu 50m am höchsten. Die Lebensdauer für Module wird mit etwa 18 Jahren angesetzt. Für eine wirtschaftliche Nutzung als Pumpenantrieb sollte die mittlere tägliche Sonneneinstrahlung mindestens 3 kW/m² für jeden Monat des Jahres betragen. Auch bei solarbetriebenen Pumpen empfiehlt sich die Speicherung von Wasser oder Strom für etwa drei Tage, um den Bedarf auch zu Zeiten decken zu können, zu denen zu wenig Sonnenlicht vorhanden ist, und die Pumpe somit nicht läuft.

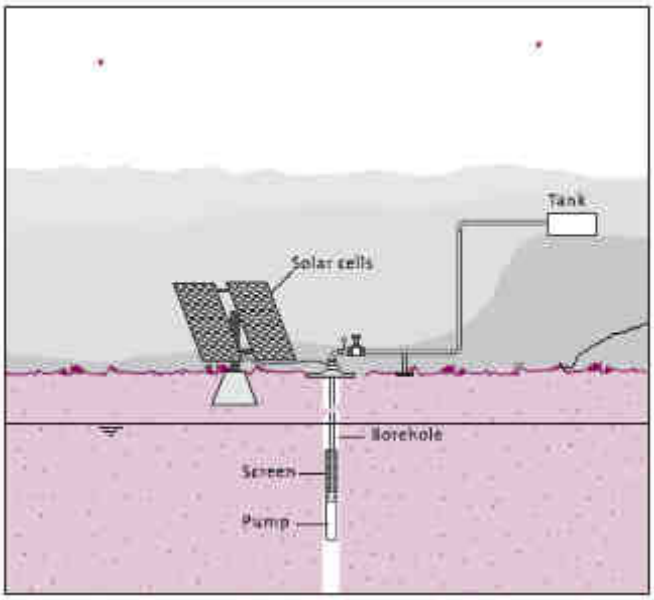


Abb. 5: Aufbau einer solarbetriebenen Pumpe

Aufgrund der immer noch hohen Kosten der Solarmodule sind die Investitionskosten hoch, aber die Betriebs- und Wartungskosten dafür niedrig. Auch ist mit zukünftig sinkenden Preisen und zuneh-

mend höherer Effizienz der Solarzellen zu rechnen (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003). Solarbetriebene Pumpensysteme weisen folgende Vor- und Nachteile auf:

Vorteile

- fremdenergieautark
- keine körperliche Belastung der Nutzer
- im Vergleich zum Antrieb mittels Muskelkraft höhere Arbeitsleistung
- im Vergleich zu muskelkraftbetriebenen Pumpen größere Fördermengen
- emissionsfreier Betrieb
- Einsatz auch an abgelegenen Stellen ohne Stromzugang möglich
- Stromspeicherung möglich
- geringe Unterhaltungskosten
- Wartung mit einfachen Mitteln möglich (Schraubenzieher, Hammer, Machete, Messer)

Nachteile

- Anfälligkeit für Vandalismus sowie Wild- und Viehschäden
- Anfälligkeit für Diebstahl, da sich Solarmodule vielfältig einsetzen lassen
- hohe Primärinvestitionskosten
- Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung
- Verleitung zu übermäßigem Wasserverbrauch
- Gefahr der Übernutzung des Grundwasservorkommens durch größere Fördermengen
- wenig, aber recht spezielle Wartung erforderlich
- technische Kenntnisse für Wartung und Reparatur erforderlich > Ausbildung eines Zuständigen vor Ort
- möglicher Ausfall durch Beschädigung oder Verschleiß

Für die Effizienz und nachhaltige Nutzung von Pumpen ist jedoch die Wahl des richtigen Pumpen- und Verteilungssystems mindestens von gleicher Bedeutung wie die Wahl des Antriebssystems.

2.2 Historische Pumpen

Da sich je nach Projektumfeld und kulturellen, infrastrukturellen und ökologischen Bedingungen für zahlreiche Entwicklungshilfeprojekte einfache, robuste Pumpensysteme besser eigenen als höherentwickelte, leistungsstärkere Pumpen, können hier auch historische Pumpensysteme zum Einsatz kommen. Historische Pumpen, deren Prinzip noch in heutigen Pumpensystemen Verwendung findet, sind unter anderem die „Archimedische Schraube“ und der „Hydraulische Widder“.

2.1.1 Archimedische Schraube

Die Erfindung dieses Prinzips zur Bewegung von Wasser und anderen Materialien wird dem antiken griechischen Mathematiker und Ingenieur Archimedes in der Zeit des 3. Jahrhunderts v. Chr. zugeschrieben.

2.1.1.1 Funktionsweise

Die Archimedische Schraube zählt zu den Verdrängerpumpen und ist eine Förderanlage, die im Wesentlichen auf einer schraubenförmigen „Schnecke“ beruht, die in einem Zylinder um ihre Mittelachse gedreht wird. Das untere Ende liegt dabei im Wasser. Die Schraube bildet mit dem Zylinder Kammern, die nach oben und unten durch jeweils einen Windungsabschnitt der Schraube begrenzt sind. Durch die Drehbewegung der Schraube bewegen sich alle Kammern in Richtung des Schraubenendes, und das Wasser wird nach oben befördert. Am Ende der Schraube läuft das Wasser aus der sich auflösenden Kammer aus, am Schraubenanfang entsteht gleichzeitig eine neue Kammer, welche sich mit Wasser aus dem Zulauf füllt.

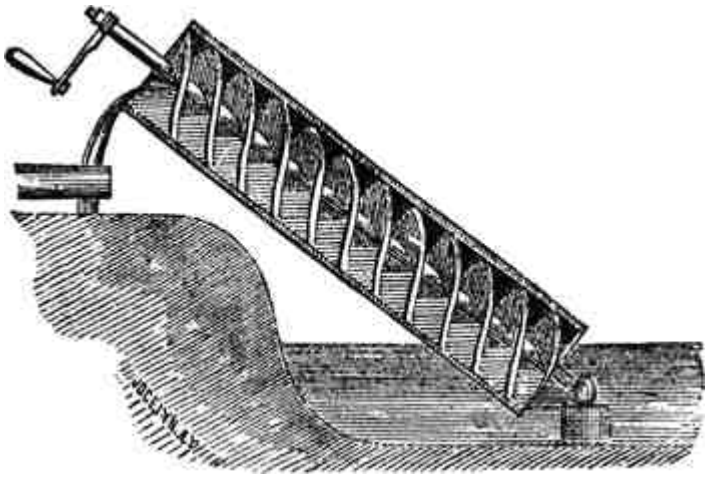


Abb.6: Archimedische Schraube

Voraussetzung für den Wassertransport ist das dichte Anliegen der Schraubenränder an der Rohrwand. Allerdings gibt es auch offene Systeme, in denen die Schnecke mit erhöhten Rändern versehen ist, sodass ein zusätzlicher schaufelähnlicher Effekt entsteht, der es ermöglicht, Wasser auch ohne Zylinder zu befördern.

Meist liegt der optimale Neigungswinkel bei 30 - 40°. Je nach Länge und Material der Schraube, Größe ihrer Ganghöhe und ihrem Aufstellwinkel können mehrere Meter Höhenunterschied bei der Wasserbeförderung bewältigt werden. Die Hubhöhe antiker Archimedischer Schrauben lag jedoch vermutlich bei ca. 1m (Ballhausen 2008, FH Bielefeld 2012, Hydro-Kosmos.de 2012, Wikipedia: Archimedische Schraube 2012).

2.1.1.2 Verwendung früher und heute

Baumaterialien des Zylinders antiker Archimedischer Schrauben waren Holzplanken, die zum Abdichten geteert wurden; die Schraube bestand dabei entweder ebenfalls aus Holz oder einem Holzkern, der in mehreren Lagen schraubenförmig mit flexiblen Ruten umwickelt wurde. Gedreht wurde die Schraube durch Muskelkraft (Kurbeln, Treten oder den Einsatz von Eseln), Windmühlen oder Wasserräder. Die klassische Anwendung der Archimedischen Schraube war und ist der Transport von Wasser auf ein höheres Niveau zu Bewässerungs- und Entwässerungszwecken. Doch auch zähflüssiges Material, Beton und sogar Getreide können mit dieser Vorrichtung von niedriger gelegenen Behältern in höhere gepumpt oder auch nur gemischt werden. Ein großer Vorteil war schon damals, dass sich die Archimedische Schraube leicht auseinander nehmen, gut transportieren und bei Bedarf reparieren ließ. Sie benötigte zur Aufstellung wenig Platz, und mit Wind- oder Wasserkraft betrieben erforderte sie kaum Bedienpersonal (Ballhausen 2008, Wikipedia: Archimedische Schraube 2012).

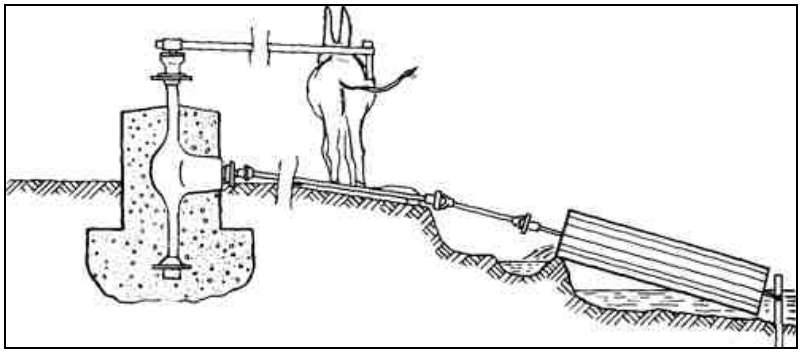


Abb. 7: Bewässerung in Ägypten um 1950 Abb. 8: Nutzung der Hinterachse eines Autos zur Kraftübertragung für eine Zugtierbetriebene Archimedische Schraube

Die Archimedische Schraube hat auch heute noch vielfältige Anwendungen, auch wenn sie oft verborgen in Maschinen arbeitet, wie z.B. als Schraubenkompressor oder als Extruder in kunstoffverarbeitenden Maschinen. Das Grundprinzip liegt auch vielen heutigen Pumpen und Fördersystemen zugrunde. Dabei werden die heutigen Konstruktionen vorwiegend aus Metall gefertigt.

So wird z.B. in vielen Kläranlagen der Zulauf zunächst auf ein höheres Niveau gepumpt, um anschließend alle Stufen der Anlage durch ein Gefälle ohne zusätzlichen Energieaufwand durchströmen zu können. Hierfür kommen teilweise sehr große Archimedesschrauben zum Einsatz (siehe Abb. 9) (Gramatke 2012, WasserWissen 2012).

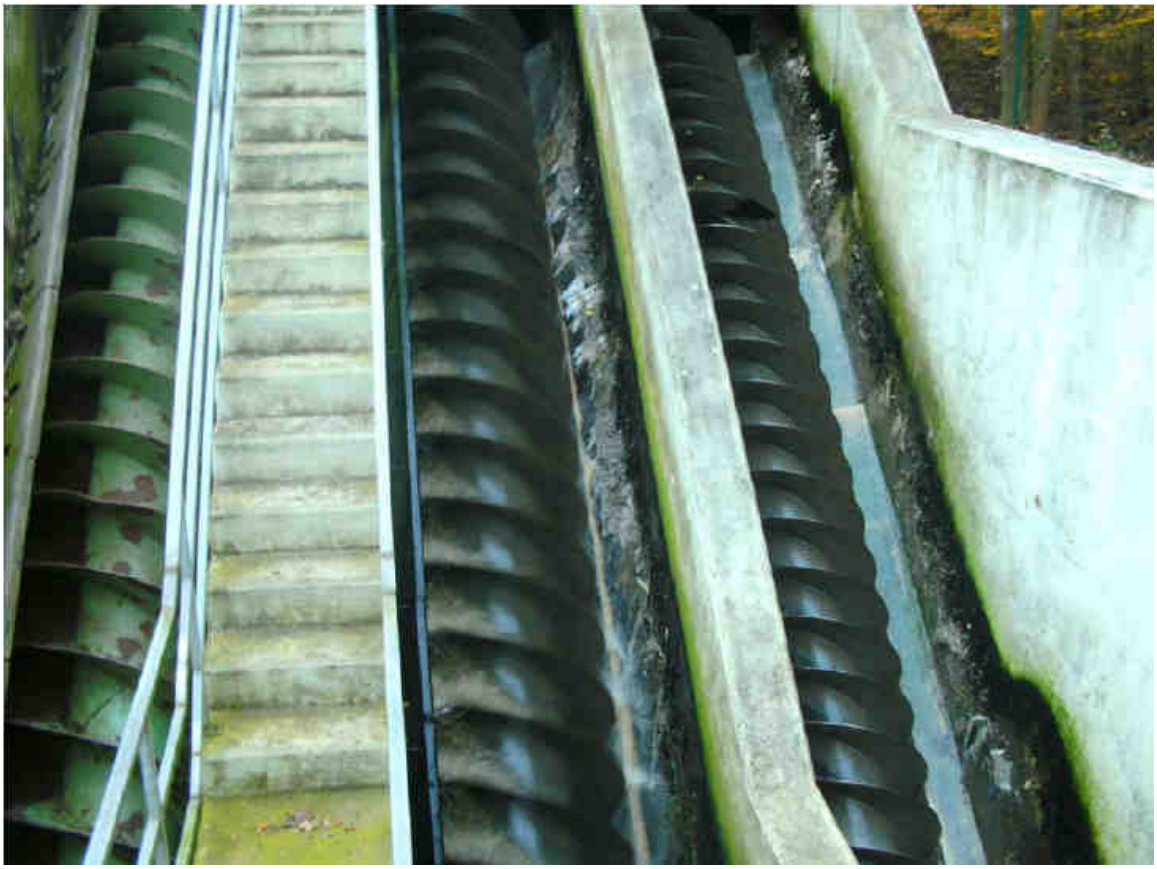


Abb. 9: Zulaufpumpen der Kläranale Idstein-Beuerbach (2011) nach dem Ur-Prinzip der Archimedischen Schraube

2.1.1.3 Weiterentwicklungen, Sonderformen

Die moderne Version der Archimedischen Schraube, die auch für die Wasserförderung eingesetzt werden kann, ist die **Schneckenpumpe** (siehe Abb. 10). Deren Antrieb erfolgt heute mit Verbrennungsmotoren oder Elektro- bzw. Getriebemotoren. Dabei kann der Antrieb an der Ein- oder Auslaufseite der Schneckenpumpe angebracht sein. Lediglich bei dem Festlager der Wellenlagerung muss darauf geachtet werden, dass dieses an der Antriebsseite vorgesehen wird.

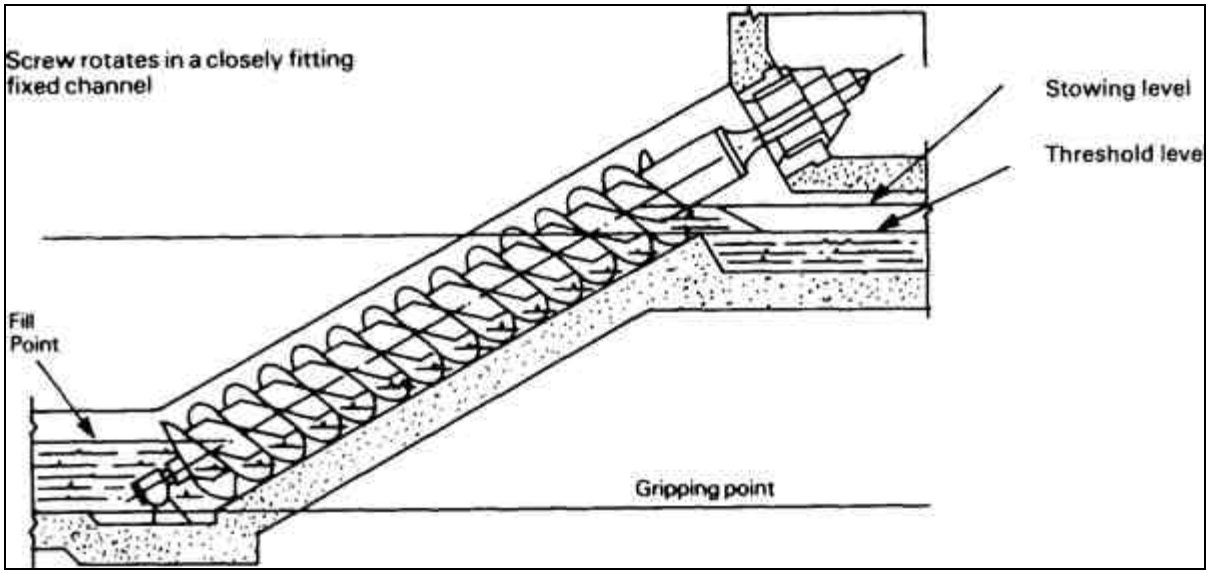


Abb.10: Schnitt einer offenen Schneckenpumpe

Bei Auslegung der Anlage ist zu beachten, dass der Füllgrad während des Förderprozesses durch die Steigung der Schraube und die jeweilige Gangtiefe beeinflusst wird und bei größerer Steigung zunimmt. Auf die jeweilige Fördermenge wirken sich Drehzahl, Steigung, Befüllungsgrad, Innen- und Außendurchmesser und auch die Reibung der Flüssigkeit an der Schraube aus. Oftmals liegt bei modernen Schneckenpumpen die Schraube nicht völlig dicht am Zylinder an, so dass ein geringer Rückfluss entsteht, der aber durch die große Fördermenge der Pumpe verhältnismäßig gering ist. Der Leistungsgrad moderner Schneckenpumpen liegt bei 60 - 70%.

Vor- und Nachteile

Die Hauptvorteile liegen in relativ einfacher Installation und Betrieb, verglichen mit großen Axialkreiselpumpen, die benötigt würden, um dieselbe Wassermenge zu fördern. Auch kann die Pumpe sandiges oder schlammiges Wasser befördern, ohne zu verstopfen.

Ein Nachteil motorisierter Schneckenpumpen besteht in der Notwendigkeit eines Getriebes, das die hohe Drehzahl von Elektro- oder Dieselmotorantrieb auf die geringe Drehgeschwindigkeit (20 - 40 Umdrehungen / min) und das hohe Drehmoment der Schnecke herunterschaltet, die hier normalerweise benötigt werden. Dies bildet einen zusätzlichen Kostenfaktor und führt zu einer Reduzierung des Gesamteffizienzgrads auf 50 - 60%. Auch liegt die maximale Höhe, über die Wasser gefördert werden kann, lediglich bei 6m, für kleine Schneckenpumpen meist nur bei 4 - 5m (FAO 1986).

Exzenterschneckenpumpen / Schneckenförderer

Ebenfalls in Anlehnung an das Prinzip der Archimedischen Schraube erfolgte die Erfindung von Exzenterschneckenpumpen (engl. Progressing Cavity Pump / Helical Rotor Pump) zur Beförderung zähflüssigerer Materialien. Auf diesem basieren auch die Schneckenförderer in modernen Förderanlagen, mit denen Schüttgüter befördert, gemischt oder entwässert werden. Während die Archimedische

Schraube nur die Schwerkraft mittelbar für den Vorwärtstransport des Fördermediums nutzt und somit nur horizontal oder schräg nach oben fördern kann, sind Exzenterschneckenpumpen und Schneckenförderer auch in der Lage, Güter senkrecht zu fördern, wozu allerdings hohe Drehzahlen erforderlich sind (Wikipedia: Schneckenförderer 2012).

Das Funktionsprinzip der Exzenterschneckenpumpe beruht auf einem rotierenden Rotor, der sich in einem feststehenden Gehäuse, dem Strator, drehend bewegt. Der Rotor ähnelt vom Aufbau einer Rundgewinde-Schraube mit verhältnismäßig kleinem Kerndurchmesser. Der Strator besitzt einen Gewindegang mehr und die doppelte Steigungslänge des Rotors, wodurch sich zwischen Strator und dem sich drehenden Rotor Förderräume bilden, die sich kontinuierlich von der Eintritts- zur Austrittsseite bewegen. Die Pumpe saugt das Fördermedium an, fördert ein festgelegtes Volumen und produziert einen kontinuierlichen Förderstrom. Ventile zur Begrenzung der Förderräume werden dabei nicht benötigt. die theoretische Fördermenge hängt von der Größe der Förderräume und somit der Pumpengröße ab. Eine 360°-Drehung bei freiem Auslauf ergibt die volumetrische Fördermenge pro Umdrehung. Somit lässt sich die Pumpenfördermenge über die Drehzahl verändern. Die tatsächliche Fördermenge ist außerdem vom sich einstellenden Gegendruck abhängig.

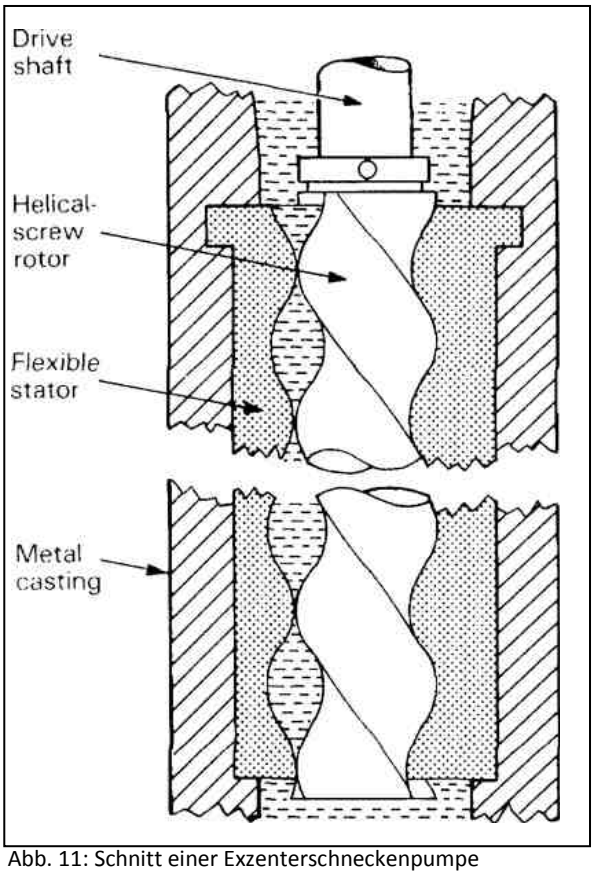


Abb. 11: Schnitt einer Exzenterschneckenpumpe

Dabei vereint das Exzenterschneckenpumpensystem viele positive Eigenschaften anderer Pumpensysteme in sich:

Wie die Kreiselpumpe besitzt es keine Saug- und Druckventile, wie die Kolbenpumpe verfügt es über ein gutes Selbstansaugvermögen, und wie die Membran- oder Schlauchpumpe kann es jede Art von inhomogenen und abrasiven Medien fördern.

Seit einiger Zeit werden Exzenterschneckenpumpen als motorbetriebene Pumpen auch zunehmend in Trinkwasserprojekten eingesetzt, vor allem in Verbindung mit Solarantrieb, da sie gegenüber Kreiselpumpen einige Vorteile aufweisen. So können sie einfacher mit Abweichungen der Pumphöhe umgehen und sind so speziell für Situationen, in denen der Wasserspiegel aufgrund saisonaler Schwankungen oder als Folge der Wasserförderung zeitweise absinkt, besser geeignet. Exzenterschneckenpumpen laufen zuverlässig, auch bei Wasserverunreinigungen. Aufgrund ihrer schmalen Größe passen sie gut in schmale Bohrlöcher und für sind für kleiner ländliche Wasserstellen besser geeignet als Kreiselpumpen.

Ein Nachteil liegt im hohen Startdrehmoment, das jedoch mit Verwendung entsprechender Regelelektronik überwunden werden kann. Da diese Elektronik zunehmend kostengünstiger erhältlich ist, ist zukünftig von einer verstärkten Verwendung von Exzenterschneckenpumpen in der Trinkwasserförderung auszugehen.

Im Vergleich zu Handpumpen ergeben sich jedoch weitere Nachteile durch die höheren Kosten sowie speziellen Bauteile, deren Verfügbarkeit vielerorts nicht gegeben ist, und die Abhängigkeit von Fremdenergie (FAO 1986, UNICEF 2010, Wikipedia: Exzenterschneckenpumpe 2013).

Einfache „Schlauch-Pumpe“

Eine weitere Möglichkeit zum Transport von Wasser, die ebenfalls auf dem Prinzip der Archimedischen Schraube beruht, jedoch mit geringem Aufwand und Materialeinsatz konstruiert werden kann, besteht in einem Schlauch, der schraubenförmig um eine dicke Achse gewickelt wird. Beim Eintauchen des unteren Schlauchendes wird Wasser aufgenommen. Die nach einer weiteren halben Umdrehung aufgenommene Luft verhindert bei steilem Winkel und dünnem Achs- und Schlauchdurchmesser ein Zurückfließen des Wassers. Umdrehungsgeschwindigkeit und Förderleistung hängen dabei vom Innendurchmesser des Schlauches ab (Hydro-Kosmos.de 2012).

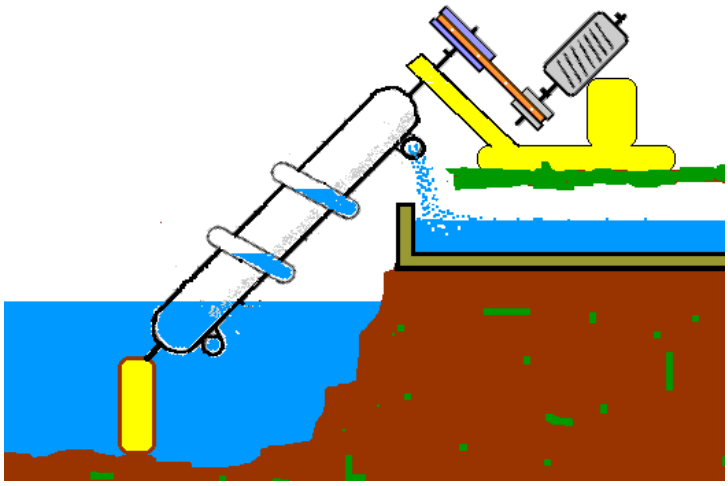


Abb. 12: Archimedische Schraube mit Schlauch

Spiralpumpe

Um Wasser auf ein höheres Niveau zu pumpen, als dies mit gewöhnlichen Archimedischen Schrauben oder Schneckenpumpen möglich ist, kann eine weitere Abwandlung der oben beschriebenen „Schlauch-Pumpe“ in Form einer Spiralpumpe genutzt werden, die 1746 ursprünglich von Wirz in Zürich erfunden wurde. Dabei liegt der Hauptunterschied zur Archimedischen Schraube darin, dass ein Schlauch oder spiralförmiges Rohr um eine horizontale Achse gewickelt wird, anstelle um eine schräg stehende Mittelachse. Das eine Ende des Schlauchs ist offen und nimmt mit einer halben Umdrehung Wasser auf und mit der anderen halben Umdrehung Luft, wodurch die unteren Teile der Windungen mit Wasser gefüllt sind, die in den oberen Windungsteilen Luftsäulen einschließen. Mit dem anderen Ende mündet der Schlauch in ein Steigrohr, wodurch bei zunehmender Drehung der Pumpe ein Druck auf Wasser und Luft im Schlauch entsteht und sich dort ein Gegendruck aufbaut. Dabei summieren sich die Wasserdrücke bis zur letzten Windung (wobei der dort herrschende Druck derjenigen Druckhöhe entspricht, bis zu welcher die Maschine fördern kann) und lassen schließlich das Wasser in der Steigleitung aufsteigen (Meyers Konversationslexikon 1888).

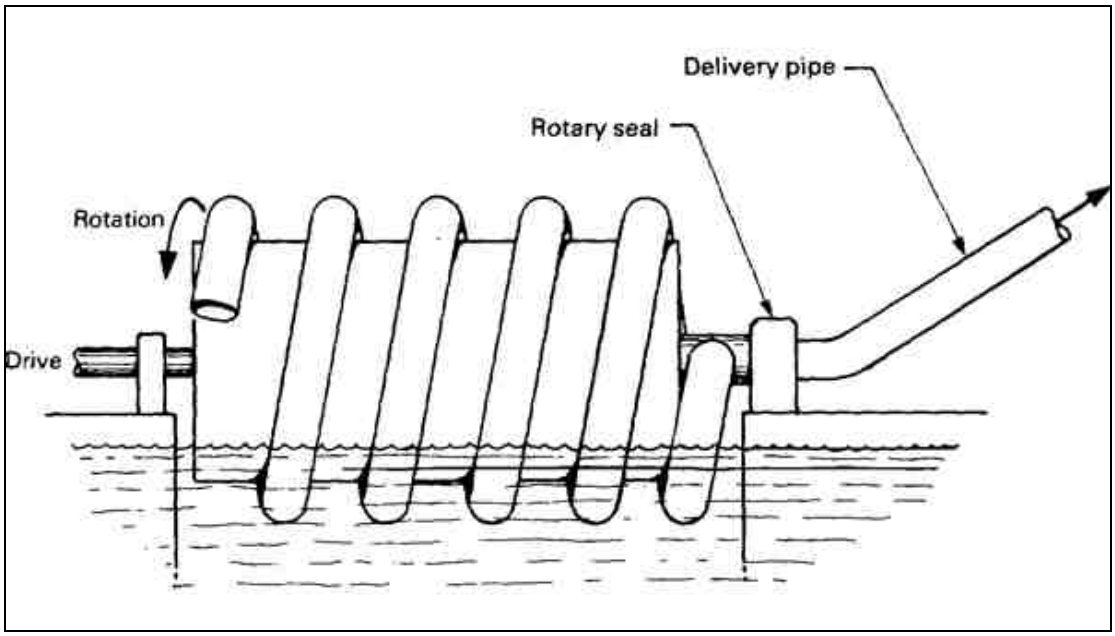


Abb. 13: Mit Wasserdruck arbeitende Spiralpumpe

Für den allgemeinen Gebrauch ist dieser Pumpentyp bislang wenig verbreitet und nicht als Standardprodukt am Markt erhältlich, findet aber zunehmend Interesse und Verwendung in Einzelprojekten weltweit.

Vor- und Nachteile

Vorteile sind in erster Linie der einfache Aufbau in Kombination mit einer möglichen Förderhöhe von 8 - 10m, was ein breiteres Einsatzfeld ermöglicht als bisherige Archimedische Schrauben. Die einzige kompliziertere mechanische Komponente liegt im entsprechenden Dichtring zur Verbindung des rotierenden Schlauchs mit dem festen Ablaufrohr. Hauptsächlicher Nachteil ist eine relativ geringe Fördermenge bzw. die große Menge an benötigtem Schlauchmaterial, um eine angemessene Fördermenge zu erzielen. Dem stehen jedoch die technische Simplizität, die Möglichkeit lokaler Improvisation und die Funktionssicherheit entgegen (FAO 1986).

2.2.2 Hydraulischer Widder

Ein Pumpensystem, das ganz ohne Fremdenergie funktioniert, ist der sog. Hydraulische Widder (eng. Hydraulic Ram Pump, Hydram), ein System, das im 18. Jahrhundert erstmals patentiert wurde.

Ebenfalls zu den Verdrängerpumpen gehörend, ist der „Wasserwidder“ eine wassergetriebene, zyklisch arbeitende Pumpe, die einen Staudruck-Effekt nutzt, um einen Teil des Wassers, mit dem die Pumpe angetrieben wird, auf ein höheres Niveau zu heben. Sie eignet sich besonders für Pumpaufgaben in der Nähe von Fließgewässern mit zum Betrieb ausreichendem Gefälle. Dem Pumpensystem zugrunde liegt die Tatsache, dass infolge eines Schnellverschlusses von Regulierventilen in Druckleitungen Durchflussänderungen und somit Druckstöße entstehen.

Der Hydraulische Widder stellt eine Weiterentwicklung und Automatisierung der 1772 von John Whitehurst erfundenen ’Pulsation Engine’ dar, bei der die durch wiederholtes Schließen und Öffnen eines Wasserhahns hervorgerufene Wasserschlossschwingung eine Wassersäule über die Höhe des Zuflusses hebt. Als Erfinder gilt heute der Franzose Joseph Michel Montgolfier, der das System mittels ausgeklügelter Ventilsteuerung weiterentwickelte, und so 1796 den automatisierten Hydraulischen Widder erfand, dessen Namen auf den mit dem Stoß eines Widder vergleichbaren Druckstoß

des Wassers zurückgeht, der dem System zugrunde liegt. Das erste amerikanische Patent wurde 1809 erteilt. In den USA nahm das Interesse an hydraulischen Widdern ab etwa 1840 stark zu, als weitere Patente erteilt wurden, und einheimische Unternehmen die Produktion aufnahmen. Erst nach Mitte des 20. Jahrhunderts ging das Interesse mit der zunehmenden Elektrifizierung wieder zurück. (Wikipedia: Hydraulischer Widder 2013, Samweber 2011).

Umstritten ist eine Theorie, wonach das System bereits im alten Ägypten genutzt und die Cheops-Pyramide ursprünglich als gigantische Wasserpumpe nach dem Funktionsprinzip des Hydraulischen Widders gedient haben soll (Tenner 2009).

2.2.2.1 Funktionsweise

Im Grunde nutzt der Hydraulische Widder zur Wasserförderung die Fallenergie einer relativ großen Wassermenge über eine relativ kleine Fallhöhe, um eine relativ kleine Wassermenge über eine große Förderhöhe zu befördern (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Okuni 2003).

Ein hydraulischer Widder besteht aus vier Hauptkomponenten:

- einer Wasserfassung als Vorratsbehälter
- der Triebwasserleitung, die vom Vorratsbehälter zum Druckbehälter führt mit einem Stoß- und einem Druckventil
- dem sog. „Windkessel“ als Druckbehälter mit einem Druckluftpolster im oberen Bereich
- der daran angeschlossenen Steigleitung

Für den Betrieb ist ein Gefälle nötig. Der Hydraulische Widder muss so installiert sein, dass er unterhalb der Wasseroberfläche der Wasserquelle liegt.

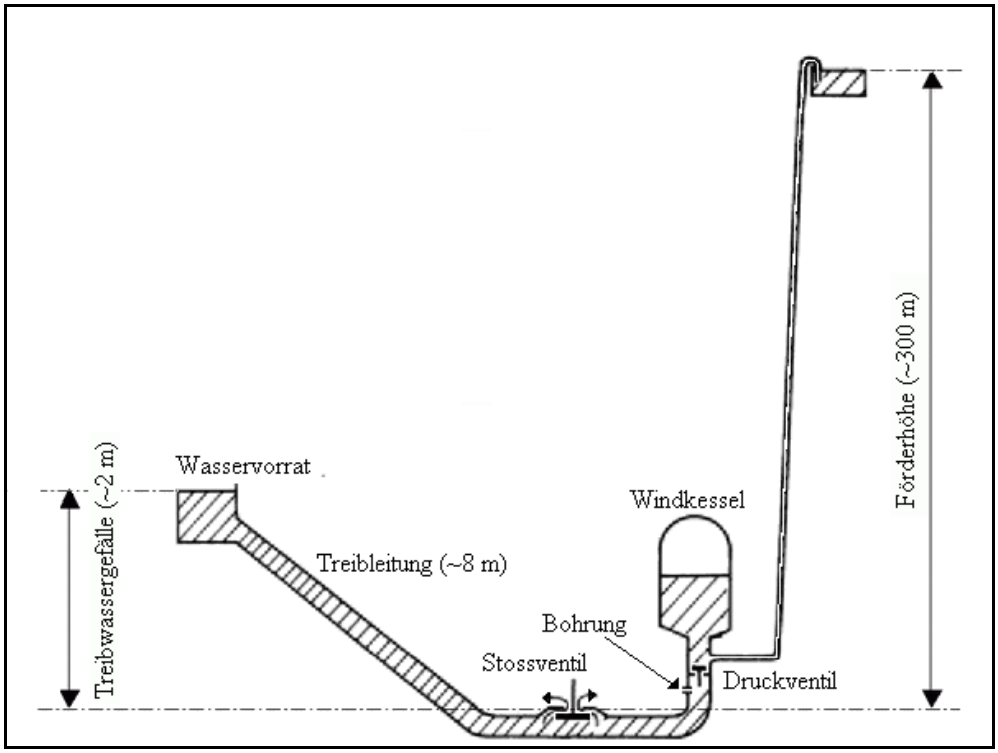


Abb. 14: Rohrplan eines Hydraulischen Widders

Zu Beginn der Inbetriebnahme eines Widders strömt Wasser aus einem Vorratsbehälter, der von einer Quelle oder einem Fließgewässer gespeist wird, durch die Triebleitung, und tritt am Stoßventil

nach außen. Ab einer bestimmten Fließgeschwindigkeit wird der Ventilkegel mitgerissen und schließt sich schlagartig, wodurch das Wasser in der Triebleitung abrupt angehalten wird.

Die Wassermasse reagiert aufgrund ihrer Massenträgheit mit starkem Druckanstieg, wodurch sich das Druckventil zum Windkessel öffnet. Durch den Druck wird ein Teil des Wassers von der Triebleitung durch das Druckventil (von unten) in den Windkessel gedrückt, bis die kinetische Energie des Wassers in der Triebleitung vollständig in Druckerhöhung umgewandelt und die strömende Triebwassersäule zur Ruhe gekommen ist.

Das Druckluftpolster im oberen Bereich des Windkessels wird dabei kurzfristig komprimiert, dehnt sich aber wieder aus und drückt das Wasser in der Steigleitung nach oben. Der nun etwas höhere Druck im Windkessel schließt außerdem das Druckventil und verhindert ein Zurücklaufen des Wassers. Der Druck in der Triebleitung sinkt, es kommt zu einer kurzen Umkehr der Bewegungsrichtung. Dadurch entsteht ein Unterdruck am Stoßventil und es öffnet sich durch sein Eigengewicht von selbst, bis der Ventilkegel mit der gleichzeitig wieder einsetzenden Strömung des Triebwassers wieder nach oben gehoben wird. Bei manchen Widdern erfolgt das Öffnen des Stoßventils auch über eine Feder, so dass durch Anpassung der Federspannung die für den Betrieb optimale Durchflussmenge und Schließfrequenz eingestellt werden kann Der Vorgang setzt sich nun immer wieder von selbst fort.

Wichtig ist, dass das Luftpolster im Windkessel dauerhaft erhalten bleibt, da die starken Druckstöße sonst zu einer Beschädigung des Pumpensystems führen können. Da unter starkem Druck ein Teil der Luft mit dem Wasser entweichen kann, gibt es hierfür unterschiedliche Möglichkeiten bei verschiedenen Ausführungen des Widders. Bei der simpelsten Lösung muss die Pumpenanlage von Zeit zu Zeit angehalten und die Luft im Windkessel nachgefüllt werden. Bei fortschrittlicheren Ausführungen sorgt ein „Schnüffelventil“ bzw. eine kleine Bohrung im Bereich des Druckventils für das Miteinsaugen von Außenluft in den Windkessel beim Einströmen der Wassersäule.

Der Druck im Windkessel steigt lediglich so lange, bis das Wasser die komplette Steigleitung durchströmt. Er pulsiert minimal bei jedem Pumpstoß. Das Wasser in der Steigleitung fließt gleichmäßig und tritt am oberen Ende kontinuierlich aus, da das Wasser in der Steigleitung viel zu träge wäre, um bei jedem Pumpstoß ruckweise weiterbefördert zu werden. Die Luft im Windkessel dient dabei als Polster. Der Druck im Windkessel ist nur von der Förderhöhe und in bestimmtem Maße vom Strömungswiderstand abhängig. In manchen neueren Ausführungen befindet sich anstelle des Luftpolsters eine komprimierbare Gummieinlage.

(Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Gerold 2001, Samweber 2011, Wikipedia: Hydraulischer Widder 2013)

2.2.2.2 Verwendung

Hydraulische Widder eigenen sich nicht zur Wasserförderung aus Brunnen. Zum Betrieb eines Hydraulischen Widders ist eine kontinuierliche und zuverlässige Wasserzufuhr bei ausreichendem Gefälle nötig. Ein Einsatz ist überall dort möglich, wo die Installation unterhalb des zu fördernden Wassers (Triebwasser) möglich und ein freier Abfluss des Restwassers gewährleistet ist. Die günstigsten Bedingungen finden sich daher oft in hügeligen oder gebirgigen Lagen in ländlichen Gegenden.

Werden höhere Fördermengen benötigt, als mit einem Hydraulischen Widder möglich, kann eine Reihenschaltung mehrerer Pumpen verwendet werden, wenn ausreichend Wasser zur Verfügung steht (siehe Abb. 15). Jedoch sinkt mit jeder Stufe die Menge des geförderten Wassers, weil nur etwa 10 % des durchfließenden Wassers weitergepumpt werden.

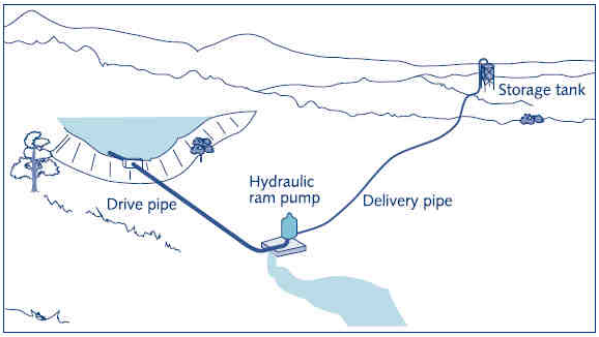


Abb.15: Anlage eines Hydraulischen Widders

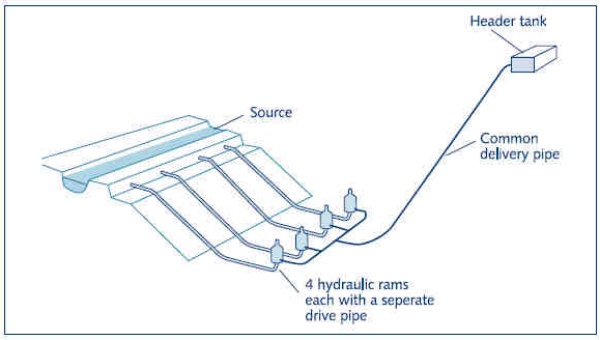


Abb. 16: Parallel angeordnete Hydraulische Widder

Es ist auch möglich, unterschiedliche Wässer für den Widderantrieb und die Wasserförderung zu verwenden. Hierbei wird beispielsweise das zu fördernde Trinkwasser durch eine elastische Membran vom dem dem Betrieb dienenden Oberflächenwasser getrennt.

Es existiert auch ein elektrisches Analogon zum Hydraulischen Widder, das heutzutage häufiger eingesetzt wird: der Sperrwandler.

In Europa finden Hydraulische Widder in der Landwirtschaft sowie zur Versorgung von Berghütten und Ferienhäuser, die in der Nähe von fließenden Gewässern liegen, Verwendung. Meist handelt es sich um Anwesen in abgelegenen Gegenden, die weder an die öffentliche Wasserversorgung noch an das öffentliche Stromnetz angeschlossen sind, oder aus anderen Gründen nur zeitweilig genutzt werden. Der erste Hydraulische Widder in Deutschland wurde von dem Technikwissenschaftler Joseph von Baader zu Beginn des 19. Jhdts. zur Wasserversorgung auf dem Landsitz des Grafen Montgelas in Bogenhausen bei München installiert.

Heute werden neue hydraulische Widder auch in der internationalen Entwicklungszusammenarbeit eingesetzt. So gibt es zum Beispiel eine Anwendung hydraulischer Widder im südöstlichen China für die kleinbäuerliche Landwirtschaft als Alternative zu Dieselpumpen (BORDA 2013, Okuni 2003, Wikipedia: Hydraulischer Widder 2013, Zahner 2013).

Abb. 17a und b: Einsatz von Hydraulischen Widdern in einem Projekt in China

2.2.2.3 Leistungsmerkmale

Förderhöhe

Es lassen sich mit dem Hydraulischen Widder Wasserdrücke von bis zu 30bar erzeugen, die Förderhöhen bis 300m entsprechen. Zur maximalen Förderhöhe finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben vom 20- bis 40-fachen der Fallhöhe. Typische Gefällehöhen der Triebwasserleitung liegen zwischen 30cm und 5m. Versuche zeigten, dass das Verhältnis von Fallhöhe zu Triebleitungslänge zwischen 1:3 und 1:12 liegen sollte. Die Zykluszeit liegt bei diesen Längen typischerweise bei 1 bis 2 Sekunden. Je höher die gewünschte Förderhöhe, umso geringer ist die mögliche Fördermenge. Idealerweise sollte die Triebleitung eine Länge von mindestens dem Hundertfachen ihres Durchmessers besitzen (z.B. 10m für eine Leitung mit einem Durchmesser von 100mm) (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Okuni 2003, Wikipedia: Hydraulischer Widder 2013, LT-E, Zahner 2013).

Fördermenge

Im Vergleich zu anderen Pumpensystemen ist die Fördermenge verhältnismäßig gering, neuere Ausführungen konnten allerdings eine Steigerung der Pumpleistung erzielen (Brikké, Bredero 2003). Die meisten Hydraulischen Widder arbeiten am effizientesten bei einem Verhältnis von Fallhöhe zu Förderhöhe von 1:3 (Okuni 2003).

Das Verhältnis der geförderten Wassermenge zur Zulaufwassermenge liegt bei einer Fallhöhe von 2m und einer Förderhöhe von 6m bei 26%, bei 3m Fallhöhe und 30m Förderhöhe bei 5% (Brikké, Bredero 2003).

Lebensdauer

Traditionelle Hydraulische Widder, wie sie vor einem Jahrhundert in Europa hergestellt wurden, sind extrem robust (siehe Abb. 17). Sie wurden aus schweren Gussteilen gefertigt und konnten 50 Jahre und länger verlässlich eingesetzt werden. Einige dieser Modelle werden auch heute noch in Europa und den USA in kleiner Anzahl gefertigt. Leichtere Modelle aus verschweißtem Stahl stammen aus Asien und sind kostengünstiger, allerdings weniger lange haltbar (etwa 10 - 15 Jahre). Doch auch diese besitzen noch ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis und sind über einen relativ langen Zeitraum zuverlässig einsetzbar (FAO 1986).

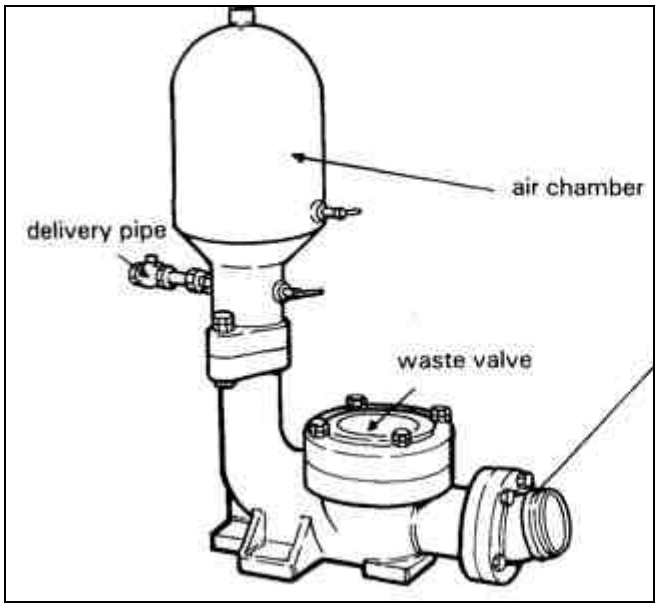


Abb. 18: Europäisches Modell eines Hydraulischen Widders

Hydraulische Widder werden weltweit u.a. unter folgenden **Handelsnamen** vertrieben: „Blake" (UK), „Cecoco" (Japan), „Las Gaviotas" (Kolumbien), „Premier" (Indien), „Rochfer" (Brasilien), „Sano" (Deutschland) (Stand 2003) (Brikké, Bredero 2003).

Allgemeine Informationen

Der hydraulische Widder bedarf einer festen Verschraubung mit einem Betonuntergrund, da die Druckstöße während des Betriebs eine starke Stoßlast verursachen.

Eine wichtige Aufgabe beim Betrieb des Hydraulischen Widders kommt dem Stoßventil zu, da dieses den Zyklus zeitlich steuert. Es arbeitet entweder anhand seines Eigengewichts oder mittels einer justierbaren Feder sowie einer weiteren justierbaren Vorrichtung, mit der die maximale Öffnung eingestellt werden kann. Die Effizienz der Pumpe hängt stark von den Einstellungen des Stoßventils ab. Ist dieses zu lange geöffnet, wird ein geringerer Anteil des durchfließenden Wassers gefördert, schießt es zu früh, wird der Druck im Pumpkörper nicht ausreichend aufgebaut, so dass ebenfalls weniger Wasser gefördert wird. Ein geschulter Installateur sollte fähig sein, vor Ort das Ventil so an die spezielle Pumpe und die örtlichen Gegebenheiten anzupassen, dass ein optimaler Betrieb möglich ist. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass Hydraulische Widder 24 Stunden am Tag mit einer konstanten Fördermenge arbeiten, die schlecht variiert werden kann. Normalerweise wird deshalb ein Vorratstank am Ende der Steigleitung angebracht, um verbrauchsangepasste Entnahmemenge zu ermöglichen.

Außerdem empfiehlt es sich, ein Sperrventil in der Steigleitung unweit des Widderausgangs zu installieren, so dass diese nicht entwässert werden muss, sollte die Pumpe aus Wartungs- oder anderen Gründen gestoppt werden müssen (FAO 1986).

Vor- und Nachteile

Ein großer Vorteil liegt darin, dass ein Widder jahrelang selbstständig ohne aufwändige Wartung funktionieren kann. Er basiert auf einem einfachen mechanischen System und besitzt nur zwei bewegliche Teile (Ventile), welche beinahe verschleißfrei arbeiten. Zum Betrieb des Widders ist keine Fremdenergie nötig, und somit entstehen keine Betriebskosten. Der Hydraulische Widder zeichnet sich durch Langlebigkeit und Zuverlässigkeit aus und kann lokal produziert und relativ leicht repariert werden. Aufgrund des einfachen Bauprinzips kann er auch vielerorts aus lokal vorhandenen Materialien improvisiert werden, wodurch Betriebssicherheit und Effizienz zwar hinter herkömmlichen Modellen zurückstehen, aber trotzdem gute Pumpleistungen bei niedrigsten Kosten und einfachen Reparaturanforderungen erreicht werden.

Typische Betriebsprobleme sind Luft in der Treibleitung, Blockierung der Wasserzufuhr oder der Ventile und Einfrieren im Winter. Dank neuer Technologien und hochwertiger Materialien kann die Einsatzfähigkeit mittlerweile jedoch auch unter extremen Bedingungen gewährleistet werden. Daneben kann es zum Verschleiß der Ventile, der Feder bzw. zur Abnutzung der Gummidichtungen kommen. Ein weiteres Problem sind Ablagerungen (Sand, Schlamm) im Pumpkörper und an den Ventilen, weshalb es sich empfiehlt, im Becken vor der Triebleitung einen Rechen oder Sieb zu installieren.

Nachteile liegen in der relativ geringen Förderleistung im Vergleich zum Wasserzufluss sowie weiteren Kosten beim Aufbau der Pumpe für Einlaufbauwerk, Betonfundament und Abfluss (-graben). Zur optimalen Funktion muss der Widder vor Ort von Hand gestartet und erstmal richtig eingestellt werden (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Wikipedia: Hydraulischer Widder 2013, Zahner 2013).

Wartungsaktivitäten

Wenn die Ventile einmal justiert sind, und der Widder läuft, benötigt er so gut wie keine Wartung, solange der Wasserzufluss gleichmäßig ist, und keine Fremdmaterialien in die Pumpe gelangen, die die Ventile blockieren.

Mögliche Wartungsarbeiten sind: das Wechseln von Dichtungsgummis, das Festziehen von Bolzen bei Lockerung, ggfls. Nachjustierung sowie das Sauberhalten von Pumpe und direktem Umfeld, und von Zeit zu Zeit kann eine Demontage zur Reinigung nötig sein. Es empfiehlt sich eine regelmäßige Überprüfung, ob die Ventile funktionieren, und das Schnüffelventil sich nicht zugesetzt hat.

Benötigt werden lediglich einfache Werkzeuge wie Schraubenschlüssel / -zieher, Messer, Spannschlüssel, Eimer etc.. Benötigte Materialien und Ersatzteile sind Gummidichtungen, evtl. Ventilfeder, Zement, Sand, Kies/Schotter…

Es sollte eine verantwortliche Person für die Wartung bestimmt werden, wofür jedoch lediglich geringe Schulung nötig ist (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986).

2.2.3 Schöpfpumpen

Schöpfpumpen beruhen im Grunde auf dem einfachsten und ältesten Pumpensystem der Menschheit, dem Fördern von Wasser über das Auffüllen und Anheben von Behältern (Krügen, Eimern). Es entwickelten sich verschiedene Varianten von Schöpfsystemen, die auch heute noch in ländlichen Gegenden im Einsatz sind und aufgrund ihrer einfachen Herstellung und guten Reparierbarkeit oftmals sogar Vorteile vor höher technisierten Pumpensystemen aufweisen.

Das nachfolgende Kapitel stellt drei übliche Varianten mit unterschiedlichen Funktionsweisen vor.

2.2.3.1 Geschichtlicher Hintergrund

Schon früh in der Menschheitsgeschichte wurden Krüge zum Schöpfen von Wasser verwendet. Einen großen Fortschritt stellte das Befestigen mehrerer solcher Krüge an einem Seil, einer Kette oder auf einem Rad dar. Mit menschlicher oder tierischer Muskelkraft wurden diese Schöpfwerke in Bewegung gesetzt und Wasser gehoben. Archäologische Funde weisen solche Becherwerke sowohl in Ägypten als auch in China in der Zeit um 1000 v. Chr. nach. Abb. 18 zeigt das sog. „Persische Rad“ eine der antiken Versionen, die auch heute noch in abgewandelter Form eingesetzt werden. Das ursprüngliche Schöpfwerk bestand dabei aus Tontöpfen, die an einer Kette befestigt waren, die über ein hölzernes Rad lief. Diese Art von Schöpfwerk wird auch heute noch für flache Schachtbrunnen verwendet, aus denen das Wasser mit Hilfe einer kontinuierlichen Kette mit kleinen Behältern nach oben transportiert und in eine Abflussrinne entleert wird.

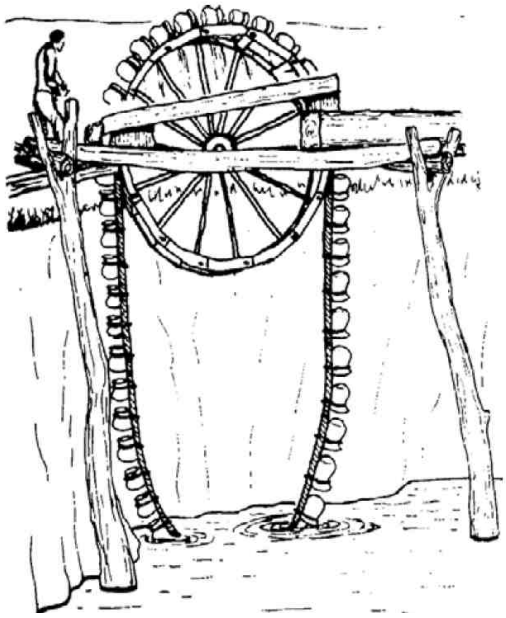


Abb. 19: „Persisches Rad“

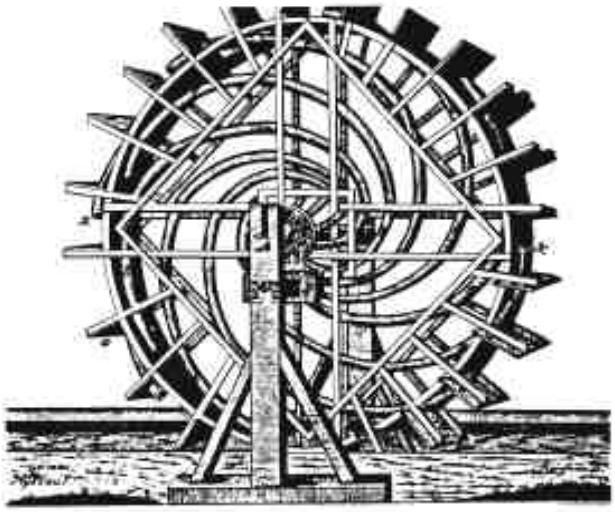


Abb. 20: Röhrenpumpwerk von Jacob Leupold

Eine geniale Fortentwicklung entwickelte Jacob Leupold (1674-1727) im Jahre 1724 mit dem Röhrenpumpwerk, in dem gebogene Rohre in ein Rad eingebaut wurden (siehe Abb. 20). Durch die Drehung des Rades wurde das Wasser zwangsläufig zur Mittelachse des Rades gehoben und von dort weitertransportiert. Das in einem Fluss strömende Wasser ist zugleich der Antrieb dieses Hebewerkes (FAO 1986, IRC 1988, Wilo 2009).

2.2.3.2 Seil-und-Eimer-Schöpfwerk

Dieses ist das einfachste aller Schöpfsysteme und besteht aus einem Eimer, der an einem Seil in einem Brunnen oder Schacht nach unten gelassen wird. Füllt sich der Eimer am Grund mit Wasser, wird er am Seil wieder nach oben gezogen. Das Seil wird dabei entweder mit der Hand gehalten, oder läuft durch einen Flaschenzug (teilweise auch von Arbeitstieren gezogen) oder ist um eine Seilwinde gewickelt. Fortgeschrittenere Systeme bestehen aus zwei Eimern an jedem Ende des Seils, das durch einen Flaschenzug läuft.

Abb. 21: Brunnen mit Seilwinde

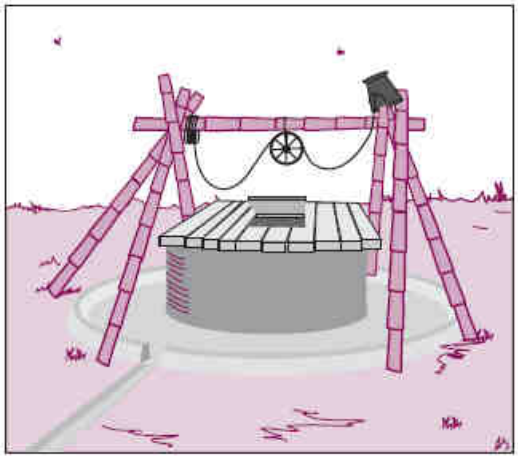


Abb. 22: Schöpf-Konstruktion mit zwei Eimern und Flaschenzug

Die **Pumphöhe** liegt bei 0 - 15m, manchmal auch mehr. Pumphöhe bezeichnet in der vorliegenden Arbeit die zu fördernde Distanz vom Grundwasserspiegel bis zur Geländeoberkante.

Die **Fördermenge** beträgt bei einer Höhe von 10m 0,25 L/sec.

Vor- und Nachteile

Die Wasserförderung mit Seil und Eimer ist die billigste und einfachste Methode, Grundwasser zu fördern. Neben den äußerst niedrigen Kosten des Systems sind die Nutzbarkeit lokal verfügbarer Materialien und die einfache Reparierbarkeit auf Ebene der Gemeinde weitere Vorteile, die einen langjährigen nachhaltigen Betrieb ermöglichen.

Der Hauptnachteil liegt in der mangelnden Hygiene bzw. der Gefahr von Verunreinigungen. Selbst wenn der Brunnen über einen Deckel verfügt und nur zur Wasserentnahme geöffnet wird, ist die Gefahr von Verschmutzungen größer als bei einem Schacht, der direkt mit einer Pumpe abschließt. Eimer und Seil sind dabei die größten Verunreinigungsquellen, speziell wenn sie noch zu anderen Zwecken außer der Wasserentnahme verwendet werden. Auch können Krankheitserreger so von einzelnen Nutzern auf das Wasser übertragen werden. Ein System mit Seilwinde ist daher von Vorteil, da das Seil so zumindest nicht in direkten Kontakt mit den Händen der Nutzer kommt. Trotzdem hat sich das System oftmals als besser erwiesen, als Pumpen, die kaputtgehen und aufgrund mangelnder Ersatzteilverfügbarkeit, hoher Kosten oder technischer Komplexizität nicht repariert werden können und so die Nutzer zwingen, zu verschmutzten ungesicherten Quellen zurück zu kehren. Auch zeigte sich, dass kommunale Wasserstellen eher verschmutzt werden als solche im Besitz einzelner

Familien, weshalb letzteren vorrangig eingerichtet werden sollten (Breslin 2003, Brikké, Bredero 2003, Noppen 1996).

Wartungsaktivitäten

Beim Betrieb eines Eimer-und-Seil-Systems muss in erster Linie darauf geachtet werden, dass der Eimer nicht versandet oder verschmutz wird. Die einzige präventive Wartungstätigkeit liegt im Einfetten der Lager von Flaschenzug oder Seilwinde. Kleine Reparaturen belaufen sich auf das Flicken von Löchern im Eimer und das Festziehen der Lager oder des Griffs der Seilwinde und können von den Gemeindemitgliedern mit einfachen Werkzeugen durchgeführt werden. Die einzigen größeren Reparaturen bestehen im Austausch des Seils, Eimers oder Teilen der Seilwinde. Dabei hält ein Eimer ungefähr ein Jahr, Seile nutzen sich meistens schneller ab. Zwar können starke Nylon-Seile teilweise bis zu zwei Jahren halten, Sisal und andere Nylonschnüre halten jedoch meistens nur wenige Monate. Im Falle von Gemeindebrunnen organisiert meist ein Gemeinde-Komitee die Wartung und Sauberhaltung, die meisten Reparaturen können durch Geldeinsammeln im Bedarfsfall bezahlt werden (Brikké, Bredero 2003).

2.2.3.3 "Bucket-Pump"

Um der Kontaminationsgefahr von Schöpfpumpen zu begegnen, wurde eine im Englischen mit „Bucket-Pump" bezeichnete Schöpfpumpe entwickelt. Diese wird in Schacht- oder Bohrbrunnen mit Mantelung verwendet. Dabei schließt das Bohrloch nach oben hin mit einem Zement- oder Stahlkragen ab. Darüber ist mit einem Seil oder einer Kette an einer Seilwinde mit Holzlagerung ein speziell angefertigter schmaler Behälter befestigt, der in den Schacht hinab gelassen wird. Er verfügt über ein Ventil am Boden, das sich beim Eintauchen ins Wasser öffnet, Wasser einlässt und beim Herausziehen wieder schließt. Um Kontamination möglichst zu vermeiden, wird der Behälter nach dem Herausziehen auf eine spezielle, am Gestänge befestigte, Vorrichtung aufgesetzt, durch die sich das Ventil öffnet, und das Wasser in ein darunter stehendes Gefäß läuft.

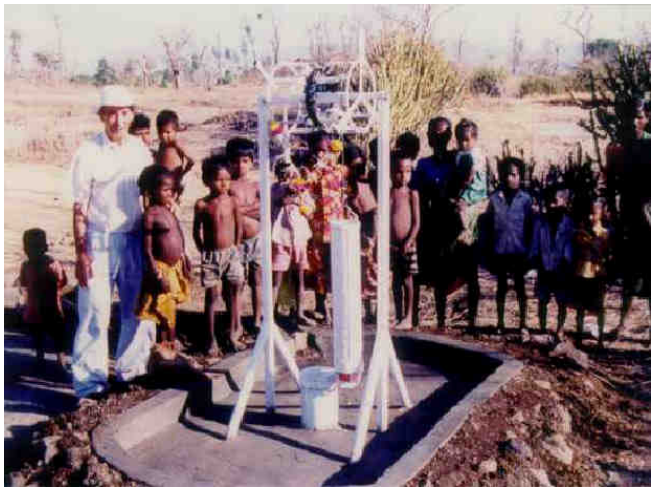


Abb. 23: Neu installierte „Bucket-Pump"

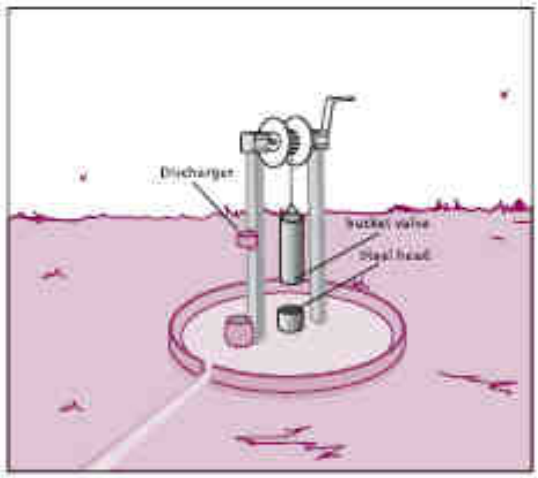


Abb. 24: Schema einer „Bucket-Pump"

Die **Pumphöhe** liegt ebenfalls bei 0 - 15m, die **Fördermenge** ist relativ gering und hängt von der Tiefe des Bohrlochs ab (Brikké, Bredero 2003, Noppen 1996).

Vor- und Nachteile

Ein Vorteil des Systems gegenüber dem einfachen Eimer-und-Seil-System ist die Verringerung der Kontaminationsgefahr. Das Konzept ist einfach, baut ebenfalls auf altbekannten Traditionen auf, und die Investitions- und Wartungskosten sind gering. Die Pumpe ist sowohl von Erwachsenen als auch Kindern relativ einfach zu bedienen. Sie kann als ein Minimalkonzept angesehen werden, das besser

für einzelne Haushalte, kleine Gemeinden oder Zusammenschlüsse mehrerer Haushalte geeignet ist, in denen ein hygienischer Umgang besser kontrolliert werden kann, als für größere Gemeinden, für die sowieso Pumpensysteme mit größerer Fördermenge empfehlenswerter sind.

Der Schwachpunkt hinsichtlich der Kontaminationsvermeidung liegt allerdings auch in diesem System auf der Handhabung von Seil und Behälter. Darüber hinaus bedarf es einer PVC-Verkleidung des Schachtes sowie eines speziell angefertigten Behälters, was die Ersatzteilverfügbarkeit evtl. erschwert. Einen weiteren Nachteil stellt die relativ geringe Fördermenge dar (Brikké, Bredero 2003, Noppen 1996).

Wartungsaktivitäten

Vorausschauende Wartung beinhaltet in erster Linie das Fetten der Holzlagerung der Seilwinde sowie das Überprüfen von Muttern und Bolzen und der Funktionstüchtigkeit des Ventils. Pumpe und Umgebung sollten sauber gehalten werden, und, wenn möglich, das Bohrloch in Abständen desinfiziert werden. Kleine Reparaturen beinhalten den Austausch der Ventildichtungen sowie ggfls. die Reparatur gebrochener Kettenglieder mittels Stahldraht. Eine größere Herausforderung ist die Reparatur des Bodenventils, die durch einen lokalen Klempner oder Schmied durchgeführt werden kann. Zu einem bestimmten Zeitpunkt müssen Kette bzw. Seil, Behälter und das Lager der Winde ausgetauscht werden. Zum Austausch der Seilwinde wird ggfls. ein lokaler Handwerker benötigt. Ein bei Installation der Pumpe geformtes Gemeinde-Komitee sollte die Wartung der Pumpe organisieren und Gebühren für Reparaturen einsammeln. Nach Installation empfiehlt sich eine einfache Einführung in die Wartung sowie zeitweise externe Unterstützung.

2.2.3.4 Seilpumpe

Eine Seilpumpe besteht in erster Linie aus einem über dem Bohrloch aufgeständerten, überdachten Rad, das mit einer Handkurbel gedreht wird. Über das Rad läuft ein Seil mit runden Scheiben aus Kunststoff oder anderen Materialien in das Bohrloch hinein und über eine Seilführung durch eine Steigleitung wieder heraus. Die Scheiben schließen mit der Steigleitung relativ dicht ab und befördern so Wasser nach oben, das dort über ein Auslassrohr austritt. Es existieren unterschiedliche Ausführungen mit mehr oder weniger stark umschlossenen Rädern, bei manchen läuft der hinablaufende Teil des Seils ebenfalls durch ein Rohr oder über eine oder zwei Umlenkrollen.

Abb. 25: Betrieb einer Seilpumpe

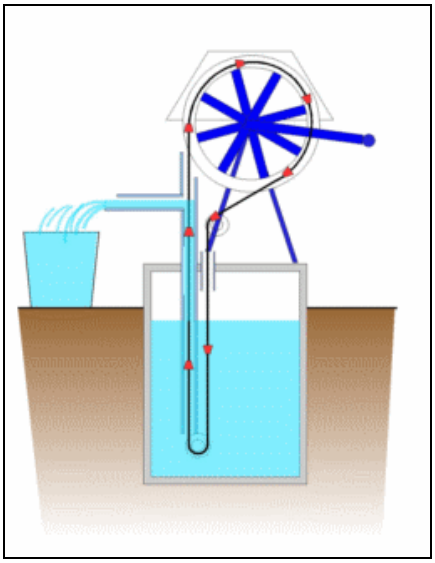


Abb. 26: Funktionsweise einer Seilpumpe

Die Seilpumpe kann auf Gemeindebasis hergestellt werden unter Verwendung von Holz, Seilen und PVC-Rohren oder ausgehöhlten Bambusrohren.

In Nicaragua ist eine improvisierte Version der Seilpumpe, die vor Ort industriell hergestellt wird und aus einem metallenen Rad und Rahmen, industriell gefertigten Scheiben und einem Führungsblock aus Beton mit Keramik- und PVC-Rohren besteht, inzwischen sehr verbreitet. Diese Pumpen wurden seit 1990 eingeführt, und die Umstellung von importierten Kolbenpumpen zu lokal hergestellten Seilpumpen konnte den Deckungsgrad der Trinkwasserversorgung in weniger als zehn Jahren verdoppeln. Ausfälle haben abgenommen, da die Nutzer Wartung und Reparaturen eigenständig durchführen können, und über 90% der Pumpen sind noch in Betrieb (Stand 2006).

Es existieren sehr unterschiedliche Modelle von Seilpumpen, die über Windkraft, Fahrräder, Zugtiere, Elektromotoren oder kleine Dieselmotoren angetrieben werden können.

Wasser kann dabei über eine **Pumphöhe** von 50m und bis zu einer Höhe von 5m über der Geländeoberkante gefördert werden. Bei vollständig aus lokalen Materialien gefertigten Seilpumpen liegt die Pumphöhe meist bei maximal 10m.

Die **Fördermenge** liegt bei 0,6 L/sec bei 10m und 0,15 L/sec bei 50m (Brikké, Bredero 2003, IRC 1988, NWP 2006).

Vor- und Nachteile

Von Vorteil ist, wie bei den meisten anderen Schöpfpumpen auch, das relativ einfache und benutzerfreundliche System, das auch aus lokal verfügbaren Materialien von Handwerkern vor Ort kostengünstig hergestellt werden kann und somit auf Gemeindeebene einfach zu reparieren ist ohne Probleme bei der Ersatzteilverfügbarkeit.

Ein Vorteil gegenüber anderen Schöpfpumpen liegt in der verringerten Kontaminationsgefahr, da das Bohrloch weitgehend geschlossen ist, und das Seil und die Scheiben, die mit dem Wasser in Berührung kommen, außer zu Wartungszwecken nicht mit den Händen berührt werden. Hier empfehlen sich besonders Systeme, bei denen das Rad weitgehend geschlossen ummantelt ist. Ein Restrisiko für Verunreinigungen bleibt jedoch trotzdem, kritischer Punkt ist in erster Linie das Seil. Weitere Vorteile liegen in der vergleichsweise großen Pumphöhe, der relativ hohen Fördermenge, der Verschleißteilarmut sowie der möglichen Verbindung mit unterschiedlichen Antriebssystemen.

Von Nachteil ist die relativ geringe Haltbarkeit des Seils und die Gefahr des Steckenbleibens der Plättchen sowie deren Abrutschen vom Rad. Bei einem schlechten Zusammenbau des Systems kann es zu Problemen bei der Nutzung kommen (Brikké, Bredero 2003, IRC 1988).

Wartungsaktivitäten

Die Seilpumpe kann sowohl von Männern, Frauen als auch Kindern einfach bedient werden. Nach dem Pumpen muss das Rad kurz festgehalten werden, damit das Wasser aus der Steigleitung herauslaufen kann und die Scheiben nicht zurück in die Leitung geschoben werden. Die Pumpe und Umgebung müssen sauber gehalten werden. Laufrad, Seil und andere Teile der Pumpe sollten regelmäßig überprüft und gegebenenfalls gerichtet werden, und das Achslager einmal wöchentlich geölt werden. Die Nutzer sollten auf die Funktion der Pumpe achten und auf Probleme aufmerksam machen. Alle 6 Monate bis 3 Jahre muss das Seil ausgetauscht werden (was ungefähr eine halbe Stunde Zeit in Anspruch nimmt), und im Abstand von mehreren Jahren die Scheiben ersetzt werden. Das Rohr sollte bis zu 6 Jahren halten, und je nach Konstruktion, Wartung und Nutzung Rad und Rahmen 6 - 12 Jahre genutzt werden können. Die Seilführung sollte ebenfalls mehrere Jahre halten. Zum Auswechseln muss die Steigleitung herausgenommen werden, was von mehreren Personen per Hand durchgeführt werden kann. Alle Reparaturen können durch die Nutzer selbst ausgeführt werden, zeitweise mit der Unterstützung eines Handwerkers, z.B. für Schweißarbeiten. Die Wartungsaktivitäten sind einfach aber regelmäßig durchzuführen, um die Pumpe in gutem Zustand zu erhalten. Seilpumpen

werden sowohl auf Ebene einzelner Haushalte als auch der Gemeinde genutzt. Da sie im Vergleich zu völlig geschlossenen Pumpensystemen trotzdem noch relativ kontaminationsanfällig sind, ist es vor allem bei gemeinschaftlich genutzten Seilpumpen wichtig, dass die Nutzer sich über Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationen verständigen (Brikké, Bredero 2003).

2.2.3.5 Anmerkung zur Verwendung von Schöpfpumpen

Schöpfpumpen stellen in vielen ländlichen, einfachen Gegenden vieler Entwicklungsländer inzwischen echte Alternativen zu weiter entwickelten Kolben- oder Membranpumpen dar. Zwar darf der Risikofaktor Kontamination durch Nutzung und Wartung und die davon ausgehenden Gesundheitsgefahren wie die Verbreitung ansteckender Krankheiten (z.B. Cholera) nicht vernachlässigt werden, jedoch zeigen Erfahrungen aus der Praxis (vor allem in Afrika), dass höher technisierte Pumpensysteme, wenn sie kaputtgehen, oftmals nicht repariert werden können, und so die Nutzer entweder gezwungen sind, ihr Wasser aus anderen, offenen ungesicherten Quellen zu holen, oder sie sogar die Pumpe abbauen, um mit Eimern aus dem Pumploch schöpfen zu können. Lässt die Geberorganisation die Gemeinde selbst über das adäquate Pumpensystem entscheiden, wird nicht selten ein geschlossener Brunnen mit Schöpfpumpe gewählt, da den Nutzern verständlicherweise ein permanente und verlässliche Wasserversorgung, die die Gemeinde dauerhaft betreiben kann, wichtiger ist als eine Handpumpe, die zwar Trinkwasser besserer Qualität zur Verfügung stellt, allerdings nicht dauerhaft betriebssicher ist, und deren langfristige Unterhaltung die Gemeinde nicht zahlen kann. Auch zeigten die Erfahrungen, dass die Wasserqualität in geschlossenen Brunnen mit einem festen Seil, Eimer und einer Seilwinde ziemlich gut ist. Je nach den Gegebenheiten in den einzelnen Gemeinden vor Ort werden Schöpfpumpensysteme daher sowohl von dort tätigen NGOs als auch den für die Wasserversorgung zuständigen Landesämtern (z.B. in Zimbabwe, Sambia, Malawi und Südafrika) zunehmend als eine Option für die Wasserversorgung kleiner ländlicher Gemeinden in Betracht gezogen (Breslin 2003, IRC 1988, NWP 2006).

2.3 Kolbenpumpen

Kolbenpumpen sind **Verdrängerpumpen**, bei denen Wasser durch einen beweglichen Kolben bzw. das von ihm erzeugte Vakuum verdrängt und damit angehoben wird. Dabei unterscheidet man zwischen Hub- und Tauchkolbenpumpen sowie der Anzahl der Kolben.

2.3.1 Geschichtlicher Hintergrund

Bereits antike Kulturen wie die Römer verfügten über Hubkolbenpumpen zur Förderung von Wasser. Die von den Römern entwickelten Handpumpen stellten zur damaligen Zeit einen großen Fortschritt in der Technik der Hebeanlagen dar. Bei nördlich der Alpen gefundenen Exemplaren handelte sich um Doppelkolben-Druckpumpen, die einen nahezu kontinuierlichen Wasserfluss ermöglichten. Bei einem Hubraum von 0,5 bis 1,3 l konnten sie Wasser aus Tiefen von bis zu 16 m fördern, wobei die Förderleistung vermutlich zwischen 35 und 95 Liter in der Minute lag. Ansaugöffnungen, Zylinder und Teile der Steigleitungen wurden aus Eichenholz-Baumscheiben gefertigt, und die Ventile bestanden aus einseitig abgenagelten und beschwerten Lederklappen. Die Kolben bestanden ebenfalls aus Holz. Zur Verbesserung der Wirksamkeit wurden Kolbendichtungen aus Leder verwendet (Antikefan.de 2012).

Der Einsatz von Kolbenpumpen zum Pumpen von Luft wurde erstmals 1649 von Otto von Guericke erfolgreich praktiziert und diente ihm beim Versuch der Magdeburger Halbkugeln zur Herstellung eines technischen Vakuums (Wikipedia: Hubkolbenpumpe 2013).

2.3.2 Funktionsweise

Die Funktionsweise von Kolbenpumpen beruht auf der Tatsache, dass Wasser nicht komprimierbar ist. Wird ein satt anliegender Kolben durch ein mit Wasser gefülltes Rohr bewegt, verdrängt er somit

das Wasser und befördert es von einem Ort zum anderen. Diesen Mechanismus machen sich unterschiedliche Ausführungen von Kolbenpumpen in unterschiedlicher Weise zur Förderung von Wasser zunutze.

Hubkolbenpumpen arbeiten durch die Druck- und Sogwirkung auf der Stirnfläche von Kolben, die sich in einem Zylinder bewegen. Wichtig ist dabei die vollständige Abdichtung des Kolbens mit dem Zylinderrohr. Hierbei führt der Verdränger (Kolben) eine Hub-Bewegung, also eine geradlinige (translatorische) Bewegung, aus. Dabei kann das Wasser zum einen direkt mit dem Kolben im Rohr auf ein höheres Niveau angehoben werden (siehe Abb. 27a). Zum anderen kann durch das nach oben Ziehen des eng anliegenden Kolbens in einem Rohr ein nachfolgendes Vakuum produziert werden, das Wasser nachzieht und somit ebenfalls nach oben befördert (siehe Abb. 27b). Dies ist allerdings lediglich bis zu einer bestimmten Höhe anwendbar, bis zu der Wasser mittels eines Vakuums gehoben werden kann.

Eine dritte Möglichkeit bieten sog. Tauchkolbenpumpen bzw. Plungerpumpen. Hierbei wird das Wasser durch einen Festkörper verdrängt, der in einen mit Wasser gefüllten Raum gedrückt wird, wodurch das dem Tauchkolben entsprechende Flüssigkeitsvolumen aus dem Pumpenraum herausgedrückt wird. Wird der Kolben in einem Wasserbehälter nach unten gedrückt steigt somit das Wasser an, da es nur nach oben entweichen kann (siehe Abb. 27c). Beim Herausziehen des Tauchkolbens kann durch das Öffnen eines Saugventils Wasser aus der Saugleitung nachgezogen werden.

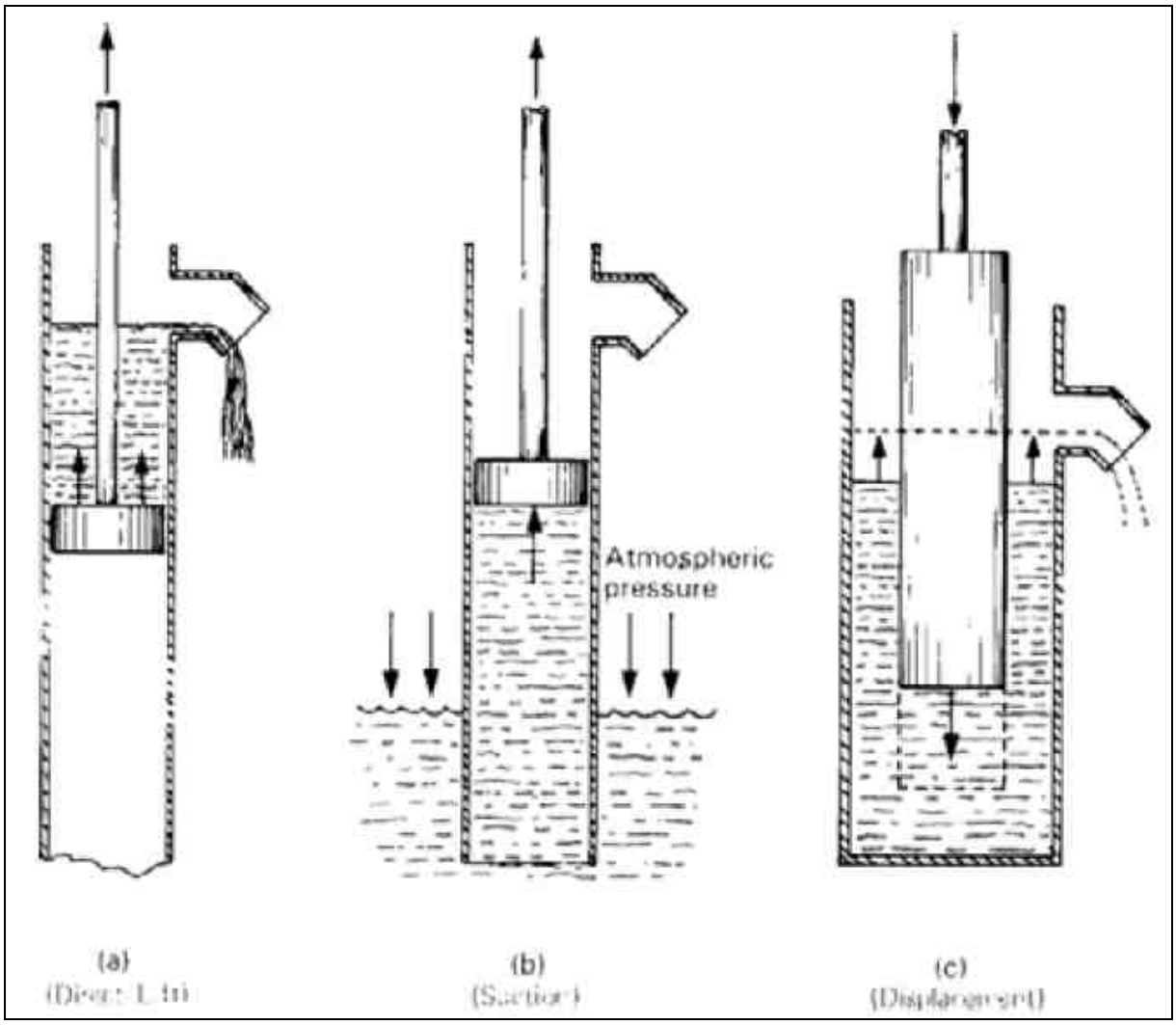


Abb. 27 a, b, c: Verschiedene Funktionsprinzipien von Kolbenpumpen

Die meisten Hubkolbenpumpen, die als Handpumpen eingesetzt werden, fördern Wasser nur während der Bewegung in eine Richtung und werden daher als 'einfach-wirkend' bezeichnet. Kolbenpumpen, die Wasser sowohl bei der Hub- als auch der Senkbewegung fördern, besitzen eine komplexere Anordnung von Ventilen und werden 'doppelt-wirkend' genannt. Das Verdrängungsprinzip kann entweder in Form zyklische Hub- und Senkbewegungen Anwendung finden oder kontinuierlich mittels rotierenden Einrichtungen (FAO 1986, IRC 1988, Lemser 2006).

Das vorliegende Kapitel befasst sich ausschließlich mit Hubkolbenpumpen, während auf andere Verdrängerpumpen in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

2.3.3 Verwendung

Hubkolbenpumpen werden, wie andere Pumpen auch, zur Förderung von Flüssigkeiten oder Gasen verwendet, wobei Gase dabei auch verdichtet werden. Mit Kolbenpumpen können beim Fördern von Flüssigkeiten hohe Drücke erreicht werden. Zudem ist das geförderte Flüssigkeitsvolumen genau bestimmbar (Dosierpumpe). Der Antrieb kann mit Muskelkraft, Elektromagneten oder durch Motoren erfolgen.

Die Bedeutung des Einsatzes von Kolbenpumpen hat sich seit dem 19. Jahrhundert verschoben. Mit der Einführung der Kreiselpumpe ging der Einsatz der Kolbenpumpe bei der Förderung großer Volumen oder verschmutzter Flüssigkeiten (Trinkwasser, Abwasser) in den Industrieländern zurück. Heute werden Kolbenpumpen vor allem in Dosierpumpen, handbetriebenen Förderanlagen und zur Herstellung großer Drücke eingesetzt. Auch Seifenspender und Fahrradpumpen basieren auf dem Prinzip der Kolbenpumpe. Bei der Wasserförderung für kleine Kommunen in Entwicklungsländern sind Kolbenpumpen allerdings der am häufigsten verwendete Pumpentyp.

Ein Problem beim Einsatz von Kolbenpumpen liegt in der stoßweisen Förderung von Wasser. Um dem zu begegnen, werden teilweise mit Luft gefüllte, dichte Behälter, sog. Windkessel verwendet, durch deren Pufferwirkung ein ausgeglichenerer Förderstrom möglich ist. Auch kann die Verwendung mehrerer Kolben zu einem kontinuierlichen Förderstrom führen.

Im Folgenden werden verschiedene Hubkolbenpumpen näher beschrieben, die Anwendung in Entwicklungshilfeprojekten zur Wasserförderung finden. Dabei kann zwischen Kolbenpumpen, die über das Erzeugen eines Vakuums Wasser fördern (Vakuumkolbenpumpen > Abb. 27b) und Kolbenpumpen, die Wasser über einen direkten Hub nach oben bewegen („Direct Lift"-Pumpen > Abb. 27a), unterschieden werden. Da die Fördermenge stark von der Anzahl der Pumpbewegungen pro Minute abhängt, müssen die Angaben dazu als grobe Richtwerte gesehen werden (Hofkes 1986, Lemser 2006, Okuni 2003, Wikipedia: Hubkolbenpumpe 2013, Wikipedia: Plungerpumpe 2013).

2.3.4 Vakuumkolbenpumpen

Vakuumkolbenpumpen finden im Rahmen der Wasserförderung für kleine Kommunen meist als muskelkraftbetriebene Hand- oder Fußpumpen Verwendung.

Abb. 28: Handbetriebene Kolbenpumpe in Burkina Faso

Abb. 29: Fußbetriebene doppeltwirkende Kolbenpumpe in Perú

2.3.4.1 Handbetriebene Schwengelpumpe

Funktionsweise

Den Aufbau einer vergleichbaren historischen handbetriebenen Schwengelpumpe zeigt Abb. 30.

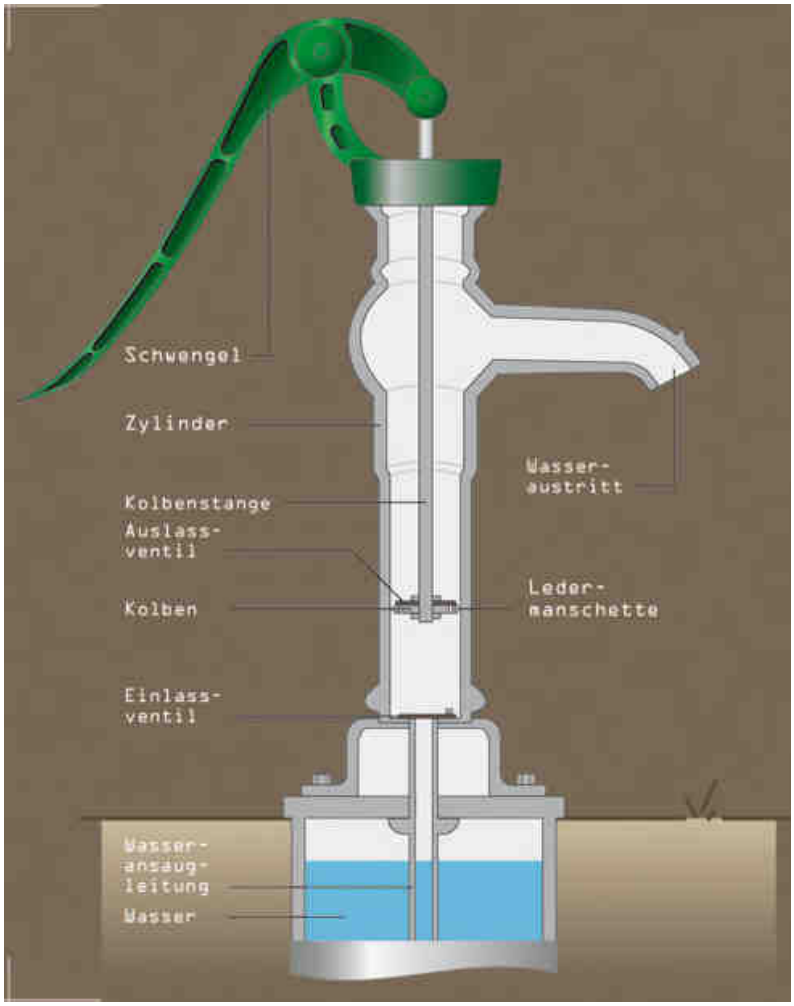


Abb. 30: Aufbau einer (historischen) handbetriebenen Vakuumkolbenpumpe

Bei Vakuumkolbenpumpen sitzt der Kolben, der dicht mit dem zylindrischen Rohr abschließt, oberhalb der Wasseroberfläche. Die Funktionsweise ist in Abb. 31 dargestellt.

Beim ersten Herabsenken des Kolbens im Ansaugrohr ist das Auslassventil im Kolben geöffnet, so dass dabei kein Luftwiderstand besteht.

Wird der Kolben dann nach oben gezogen, ist das Auslassventil geschlossen, wodurch darunter ein Vakuum entsteht, so dass das zu fördernde Wasser durch das geöffnete Einlassventil nachgezogen wird.

Beim zweiten Herabsenken des Kolbens schließt sich das Einlassventil wieder, so dass das Wasser nicht zurückfließen kann und sich nach oben staut. Dadurch öffnet sich das Auslassventil im Kolben, durch das das Wasser in den Bereich oberhalb des Kolbens strömt.

Bei der anschließenden Aufwärtsbewegung des Kolbens schließt sich das Auslassventil im Kolben wieder, so dass der Kolben die darüber stehende Wassersäule mit nach oben zum Wasseraustritt befördert. Gleichzeitig öffnet sich das Einlassventil mit der Aufwärtsbewegung, so dass neues Wasser aus der Ansaugleitung nachgezogen wird.

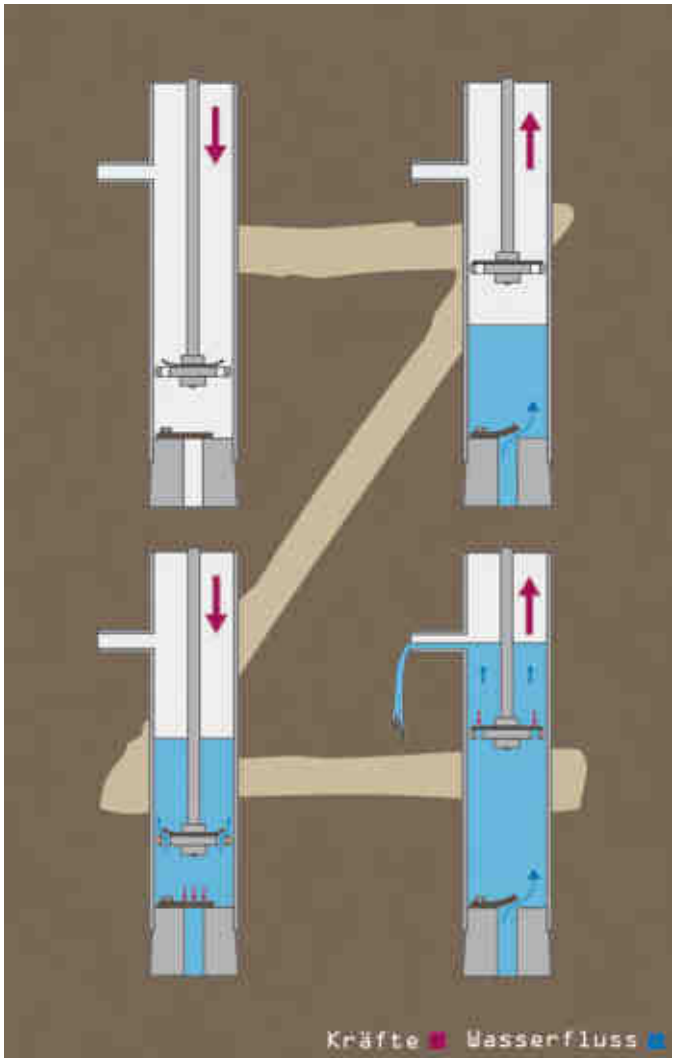


Abb. 31: Funktionsweise einer Vakuumkolbenpumpe

Die Pumphöhe dieses Handpumpentyps ist abhängig vom atmosphärischen Druck und der Dichtung des Kolbens und liegt auf Meeresniveau bei maximal 7m, in höheren Lagen bei weniger (in manchen Höhenlagen nur bis zu 4m). Handpumpen dieses Typs sind für einkommensschwache ländliche Gegenden, in denen Grundwasservorkommen innerhalb der oberen 7m unter der Erdoberfläche zu finden sind, geeignet. Bei einer Pumphöhe von 7m kann eine Fördermenge von 0,4 - 0,6 L/sec erzielt werden (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003, QueenVictoriaWaterProject 2010). UNICEF (2010) gibt für die Handpumpe „No. 6“ eine Fördermenge von 1,25 L/sec über 5m Höhe an.

Ein bekannter Handelsname ist „(Nepal) No. 6 Handpump“ (Water Africa 2013). Weitere Handelsnamen sind AID Suction, Bandung Inalsa Suction, Jetmatic Suction, Lucky, New No. 6, Rower, SYB-100, Wasp (Brikké, Bredero 2003).

Vor- und Nachteile

Durch die einfache Installation und Bedienung sowie den relativ geringen Wartungsaufwand sind Vakuumkolbenpumpen für eine mengenmäßig begrenzte lokale Wasserförderung oberflächennaher Grundwasservorkommen gut geeignet. Da Handpumpen mit Muskelkraft bedient werden, ist hier keine Fremdenergie erforderlich, und es treten somit keine Betriebskosten auf. Die meisten Pumpen sind sowohl durch Männer, Frauen und Kinder gut zu bedienen. Da alle Verschleißteile oberhalb der

Erdoberfläche liegen, ist die Wartung vergleichsweise einfach, und es bedarf dafür lediglich minimalen Know-hows und einfacher Werkzeuge.

Der größte Nachteil liegt in der begrenzten Pumphöhe, durch die es auch in Folge einer Absenkung des Grundwasserspiegels dazu kommen kann, dass eine Förderung nicht mehr möglich und die Pumpe somit nicht mehr funktionsfähig ist und durch eine Tiefbrunnenpumpe ersetzt werden muss. Zu beachten ist auch, dass die meisten Vakuumkolbenpumpen für die häusliche Wasserversorgung und weniger für die kommunale Nutzung ausgelegt sind. Auch verfügen viele am Markt angebotene Kolbenpumpen über relativ geringe Qualität.

Potentielle Verschleißteile sind abgenutzte Dichtungsscheiben, Dichtringe und Führungsschienen, die von Zeit zu Zeit ersetzt werden müssen. Ursachen für ein Kaputtgehen der Pumpe liegen meist in einem Brechen der Kolbenstange oder Lecks in der Steigleitung, was besonders durch korrosives Wasser entstehen kann. Hier sollte darauf geachtet werden, dass diese aus stabilen Materialien bestehen. Ein weiteres Problem liegt darin, dass das Einlassventil regelmäßig befeuchtet und zur Inbetriebnahme der Pumpe Wasser auf den Kolben gegeben werden muss („priming“). Wird hierfür schmutziges Wasser verwendet, führt dies zu einer Kontamination der Wasserentnahmestelle (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003).

Wartungsaktivitäten

Für Vakuumkolbenpumpen fallen nur geringe Wartungsaktivitäten an. Vor Benutzung ist zu beachten, dass der Kolben mit sauberem Wasser befeuchtet werden muss. Die Wartung kann normalerweise von einer verantwortlichen Person der Gemeinde übernommen werden unter Benutzung einfacher Werkzeuge und elementarer Ersatzteile und Materialien (wobei Produkte bestimmter Hersteller keine Wartung auf lokaler Ebene erlauben). Das grundlegende Wissen für eine vorsorgende Instandhaltung (z.B. Ölen, Demontage der Pumpe, Austausch von Ersatzteilen) kann meist innerhalb von wenigen Stunden an die ausgesuchte Person vermittelt werden. Vorausschauende Wartung besteht in erster Linie aus dem wöchentlichen Ölen der Führungsschienen sowie einer monatlichen Überprüfung von Pumpe und Fundament. Bei diesen Überprüfungen können kleinere Reparaturen notwendig sein (z.B. Auswechseln der Dichtungsringe). Für größere Reparaturen (z.B. gebrochene Kolbenstange, Risse in der Verschweißung von Metallteilen) sind allerdings spezieller ausgebildete Personen und spezialisiertere Werkzeuge nötig. Viele Vakuumkolbenpumpen sind Familien-Pumpen und werden von den einzelnen Familien betreut. Für kommunale Pumpen sollte die Gemeinde ein lokales Komitee bestimmen, um Wartungsarbeiten und auch größere Reparaturen zu organisieren (Brikké, Bredero 2003).

2.3.4.2 Fuß- oder handbetriebene Pedalpumpen

Funktionsweise

Pedalpumpen beruhen ebenfalls auf dem Prinzip der Verdrängung und Förderung von Wasser mithilfe eines durch eine Kolbenbewegung erzeugten Vakuums. Dabei sind zwei Zylinder nebeneinander angeordnet, in jedem davon sich ein Kolben durch die abwechselnde Tretbewegung der Pedale abwechselnd auf und ab senkt. Somit ist ein kontinuierlicher Wasserfluss möglich.

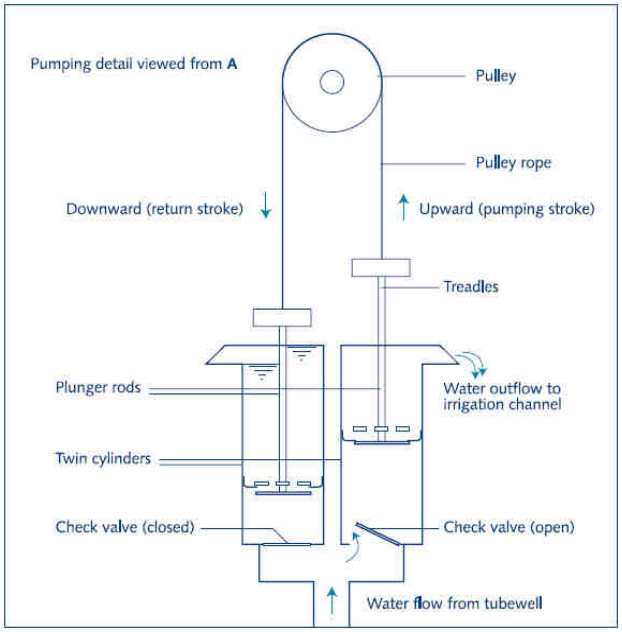


Abb. 32 und 33: Aufbau einer Pedalpumpe

Verwendung

Pedalpumpen sind in vielen asiatischen Ländern weit verbreitet und werden dort zur kleinräumigen Bewässerung oder häuslichen Trinkwasserförderung genutzt. Die Fördermenge wird mit 1,3 – 1,7 L/sec (W-3-W 2013) und 0,5 – 2,5 L/sec (Okuni 2003) angegeben.

Vor- und Nachteile

Ein großer Vorteil der Pedalpumpen liegt in der Bedienung durch die Beine, mit denen eine größere Kraft ausgeübt werden kann als mit den Armen. Deshalb ist ihre Förderkapazität (etwa 1L/sec) höher als bei anderen mit menschlicher Muskelkraft betriebenen Pumpen. Sie können allerdings auch mit den Armen betrieben werden, was sinnvoll ist, da sie oftmals ein ganzes Stück oberhalb des Erdbodens installiert werden und somit z.B. von alten Menschen per Fuß schlecht bedienbar sind. Hier ist es wichtig, die Anforderungen der jeweiligen Nutzer zu beachten. Die Pumpe kann relativ einfach vor Ort hergestellt werden und ist deshalb auch für technisch gering entwickelte Gegenden geeignet.

Der Hauptnachteil liegt wie bei der handbetriebenen Schwengelpumpe in der relativ geringen Pumphöhe. Wartungsaufwand, Ersatzteile etc. sind mit denen der Schwengelpumpe identisch.

Vor der Entscheidung für oder gegen eine Pedalpumpe sollten Konfliktpotentiale erörtert werden – so kann es mancherorts zu einer Ablehnung von Fußpumpen kommen, da sie von schwangeren Frauen und Kindern schlecht zu bedienen sind, oder die Bewegungen zu ihrer Bedienung vor dem kulturellen Hintergrund nicht angemessen sind (Okuni 2003).

2.3.5 „Direct Lift“-Pumpen

Wegen mangelnder Eindeutigkeit deutscher Übersetzungen des Begriffs „Direct Lift Pump“ sowie damit verwandter Begriffe behält sich die Autorin vor, hier die englischen Bezeichnungen zu verwenden.

Unter „Direct Lift“- oder „Deep Well“-Pumpen versteht man Hubkolbenpumpen, die zur Förderung von Wasser aus größeren Tiefen als die mittels Vakuumpumpen erreichbaren 7m eingesetzt werden.

2.3.5.1 „High Lift"-Kolbenpumpen (auch „Deep Well"-Pumpen oder "Lever Action"-Pumpen)

Für ländliche und einkommensschwache peri-urbane Gegenden, in denen Grundwasservorkommen innerhalb von 100m (vorzugsweise bis zu 45m) unterhalb der Erdoberfläche zu finden sind, empfiehlt sich der Einsatz von „High Lift"-Kolbenpumpen.

Funktionsweise

Die Funktionsweise beruht auf dem in Abb. 27a dargestellten Prinzip. Der primäre Unterschied zu Vakuumkolbenpumpen liegt darin, dass der Zylinder in das zu fördernde Wasser im Brunnen hineinreicht, und der Kolben unterhalb der Wasseroberfläche liegt. Dabei beträgt die Tiefe meist 15 - 45m unter der Geländeoberkante. Die Pumpbewegung des Nutzers wird dabei über eine Reihe miteinander verbundener Kolbenstangen in der Steigleitung auf den Kolben übertragen. Bei der Aufwärtsbewegung transportiert der Kolben das darüberstehende Wasser nach oben, wobei neues Wasser von unten durch das Einlassventil in den Zylinder nachströmt. Bei der Abwärtsbewegung schließt sich das Einlassventil, und das Wasser strömt durch das geöffnete Auslassventil über den Kolben nach oben, von wo aus es bei der nächsten Auswärtsbewegung weiter nach oben transportiert wird (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Okuni 2003).

Abb. 34: „High Lift"-Kolbenpumpe (Typ 'Afridev ')

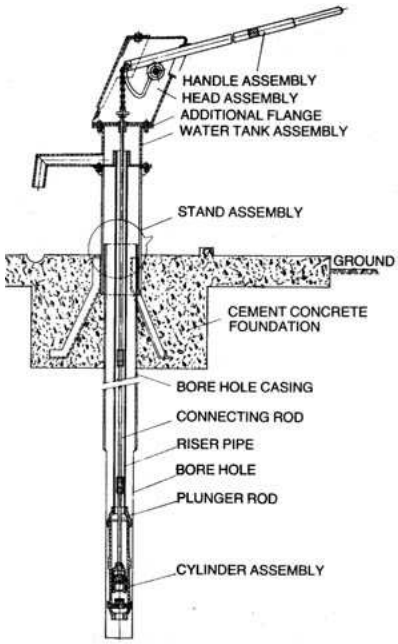


Abb. 35: Schematischer Aufbau einer „High Lift"-Kolbenpumpe (Typ 'India Mark II')

Pumphöhe

Die mögliche Pumphöhe wird hierbei lediglich durch die Kraft, die nötig ist, um das Wasser nach oben zu heben, begrenzt. Übliche Pumphöhen liegen daher bei 15 - 45m, obwohl Höhen von 100 - 180m möglich wären (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003).

Fördermenge

Die Fördermenge liegt bei 0,25 - 0,43 L/sec bei einer Tiefe von 25m und 0,18 - 0,28 L/sec bei einer Tiefe von 45m (Brikké, Bredero 2003, NWP 2006, QueenVictoriaWaterProject 2010).

Lebensdauer

Die Lebensdauer kann mit 6 - 12 Jahren angesetzt werden (Brikké, Bredero 2003).

Bekannte Handelsnamen sind unter anderem: „Afridev/Aquadev", „Bestobell Micro", „Bush pump", „Blair", „India Mark II" und III, „Kardia", „Tropic", „UPM" und „Volanta" (Brikké, Bredero 2003, Water Africa 2013).

Vor- und Nachteile

Ein wichtiger Vorteil gegenüber Vakuumkolbenpumpen liegt in der wesentlich größeren möglichen Pumphöhe. Dadurch, dass der Kolben sich unter der Wasseroberfläche befindet, entfällt außerdem das nötige Befeuchten des Kolbens.

Ein Nachteil ist die größere Tiefe, in der Verschleißteile wie Ein- und Auslassventil liegen, und damit deren schwerere Erreichbarkeit zu Wartungs- oder Reparaturzwecken. Mit zunehmender Fördertiefe nehmen somit auch mögliche Probleme zu. Die Vereinfachung der Zugänglichkeit zu Wartungszwecken war deshalb über längere Zeit Gegenstand von Forschung und Weiterentwicklung. Heutzutage sind deshalb die meisten Pumpenzylinder nach oben hin offen, so dass Kolben- und Einlassventile herausgenommen werden können, ohne die Steigleitung und den Zylinder bewegen zu müssen.

Wie bei anderen Kolbenpumpen kann es auch hier zum Verschleiß der Dichtungsringe und in Folge auch zu Lockerungen oder Bruch des Hebels kommen.

Die Kolbenstangen sind über spezielle Verbindungen miteinander verbunden, die ein Auseinanderbauen ohne oder mit einfachen Werkzeugen erlauben. Zu einem Großteil können „Direct Lift"-Pumpen somit auf Ebene der Gemeinde gewartet und repariert werden.

Nachteilig ist dabei jedoch, dass die bei diesem Pumpentyp verwendeten Haken-und-Ösen-Verbindungen schneller zu einem Loslösen der verschiedenen Kolbenstangen führen als bei anderen, stabileren Verbindungen. Korrosion stellt außerdem häufig ein Problem dar – je nach Inhaltsstoffen des Grundwassers – und kann die Kolbenstangen (wenn sie nicht aus Edelstahl gefertigt sind), die Steigleitung (wenn sie nicht aus verzinktem Eisen besteht) sowie den Zylinder und weitere Bestandteile der Pumpe beeinträchtigen. Deshalb ist es wichtig, dass grundlegende Bestandteile wie die Steigleitung eine gute Qualität aufweisen. Qualitätssicherung ist jedoch nicht immer einfach, da viele der Pumpen vor Ort in Entwicklungsländern gefertigt werden (Brikké, Bredero 2003, IRC 1988, Okuni 2003).

Teilweise sind Ersatzteile schwierig erhältlich, was im schlechtesten Fall dazu führen kann, dass die Pumpe nicht mehr genutzt wird, und Teile gestohlen werden. Ein Versuch, dem entgegenzuwirken, ist die Entwicklung der sog. „Blue Pump" (FairWater Foundation NL), einer wartungsfreien „High Lift"-Kolbenpumpe aus robusten Materialien und ohne Verschleißteile aus Gummi (Watsan 2009).

Ein weiterer Nachteil von „Deep Well"-Pumpen besteht darin, dass teilweise einhöherer Kraftaufwand zur Förderung nötig ist (abhängig von Hersteller und Förderhöhe). Auch ist bei einem motorisierten Antrieb ein bestimmtes Drehmoment erforderlich, um die Pumpe in Gang zu setzen, weshalb es sich empfiehlt, z.B. ein Windrad als Antrieb zu nutzen, und häufig stattdessen Kreiselpumpen mit geringerem Anlaufmoment bevorzugt werden (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003).

Wartungsaktivitäten

Die Wartungsaktivitäten entsprechen im Wesentlichen denen anderer Kolbenpumpen (siehe oben). Unter normalen Bedingungen ist ein Austausch einer Kolbenstange aus verzinktem Stahl alle fünf bis sechs Jahre nötig.

Bei Pumpen mit nach oben hin offenem Zylinder können alle Wartungsarbeiten normalerweise von der für die Pumpe zuständigen Person der Gemeinde durchgeführt werden. Bei Pumpen mit geschlossenem Zylinder ist spezielle Ausrüstung nötig.

"Deep Well"-Pumpen sind häufig zu teuer für einzelne Familien und eigenen sich somit besser für den Einsatz auf Ebene der Gemeinde. Die Instandhaltung muss dann von der Gemeinde organisiert und eine beauftragte Person oder ein Pumpen-Komitee gebildet werden. Externe Unterstützung wird teilweise vom Staat oder NGOs zur Verfügung gestellt, was aber teuer sein kann. In einigen Fällen haben sich hierfür kleine private Betriebe, die die Gemeinden direkt bezahlen, bewährt (Brikké, Bredero 2003).

Sonderfälle

Es existieren außerdem Schwungrad-Pumpen wie die 'Volanta'-Pumpe, deren Antrieb über ein Schwungrad erfolgt. Die Kreisbewegung wird dabei über eine Kurbelwelle und -stange in eine Auf- und Abbewegung umgewandelt und über Kolbenstangen aus Edelstahl auf den Kolben übertragen. Diese Pumpe wird allerdings weniger häufig eingesetzt als andere Pumpentypen, da die Installation schwierig ist. Zudem kann das rotierende Schwungrad für kleine Kinder gefährlich sein (IRC 1988, UNICEF 2010).

2.3.5.2 „Direct Action"-Handpumpen

Zur einfachen Förderung von Wasser aus einer Tiefe von bis zu 15m eignen sich sog. „Direct Action"-Handpumpen. Bei diesem Pumpentyp findet die Auf- und Abwärtsbewegung des Kolbens über einen T-förmigen Griff statt, der ohne Hebelarm nach oben und unten bewegt wird. Die Bezeichnung "Direct Action" bezieht sich dabei auf den vertikalen Pumpprozess, bei dem die Kraftübertragung direkt vom Nutzer auf Kolbenstange und Kolben stattfindet (IRC 1988, RWSN 2012, Water Africa 2013).

Funktionsweise

Der T-förmige Griff der "Direct Action"-Handpumpe ist über eine mehrteilige Kolbenstange mit dem Kolben verbunden, der unterhalb des Grundwasserspiegels sitzt. Die Kolbenstange besteht dabei aus mehreren, miteinander über Bindfäden verbundenen, luftdicht abgeschlossenen Kunststoffröhren. Dies hat den Vorteil, dass die Kolbenstangen-Röhren im Wasser der Steigleitung schwimmen, und somit weniger Kraft für das Hochziehen eingesetzt werden muss. Wie bei anderen „Direct Lift"-Pumpen auch, hebt der Kolben mit der Aufwärtsbewegung Wasser nach oben in die Steigleitung, während er unter sich durch ein geöffnetes Bodenventil neues Wasser nachzieht. Bei der Abwärtsbewegung schließt sich das Ventil, und Wasser tritt durch ein Ventil im Kolben nach oben und wird mit der nächsten Aufwärtsbewegung nach oben zum Ausgussrohr transportiert. Durch den großen Durchmesser der Kolbenstange wird das Wasser auch bereits bei der Abwärtsbewegung verdrängt und somit gefördert (Brikké, Bredero 2003, RWSN 2012, UNICEF 2010).

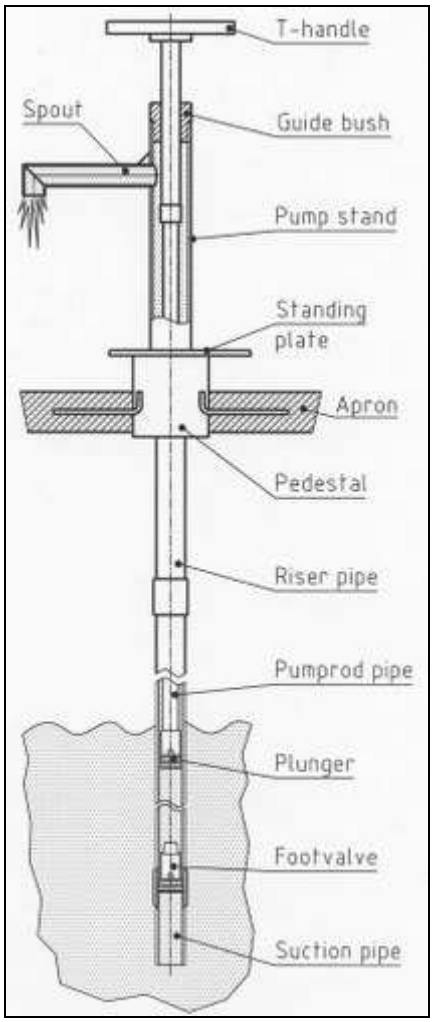


Abb. 36 und 37: "Direct Action"-Handpumpe (Typ 'Nira AF-85')

Materialien

Je nach Hersteller bestehen Pumpenkopf und Griff aus verzinktem Stahl, Stahl mit Epoxidbeschichtung oder Edelstahl; Kolbenstange, Steigleitung und Zylinder aus PVC oder HDPE, und Kolben und Fußventil aus unterschiedlichen Materialien (teilweise auch aus Kunststoff) (UNICEF 2010).

Pumphöhe

Da "Direct Action"-Pumpen keine mechanische Entlastung wie den Hebelarm oder das Schwungrad anderer „Direct Lift"-Pumpen besitzen, können sie nur für Tiefen genutzt werden, aus denen Einzelpersonen die Wassersäule körperlich anheben können. Deshalb liegt ihre maximale Pumphöhe bei 12 - 15m, wobei Tiefen von > 5m für Kinder bereits schwierig zu bewältigen sein können (Brikké, Bredero 2003).

Fördermenge

Zur Fördermenge liegen von unterschiedlichen Quellen unterschiedliche Angaben vor:

Bei einer Tiefe von 5m liegt die Fördermenge demnach bei 50 - 58,3 Liter/min (bzw. 0,83 - 0,97 Liter/sec), und bei einer Tiefe von 10m können 30 Liter/min gefördert werden (entspr. 0,5 Liter/sec) (UNICEF 2010).

Bei einer Tiefe von 12m wird die Fördermenge mit 15 Liter/min - 25,2 Liter/min angegeben (entspr. 0,25 - 0,42 Liter/sec) (Brikké, Bredero 2003).

Bei einer Tiefe von 15m liegt die angegebene Fördermenge bei 20 Liter/min (0,33 Liter/sec) (UNICEF 2010).

Als gesamte durchschnittliche Menge werden 35 Liter/min (0,583 Liter/sec) angegeben (Water Africa 2013).

Bekannte Handelsnamen für „Direct Action"-Pumpen sind „Nira AF-85", „Malda", „Tara", „Blair", „Ethiopia BP50", „Malawi Mark V", „Wavin" (Brikké, Bredero 2003, UNICEF 2010).

Vor- und Nachteile

Vorteile der „Direct Action"-Handpumpe liegen zum einen in der einfachen Installation. Es werden dafür keine Hebegeräte oder spezielle Werkzeuge benötigt. Ein großer Teil der Komponenten besteht aus Kunststoff und besitzt somit ein geringes Gewicht und ist leicht zu handhaben.

Die Anschaffungskosten sind relativ niedrig, die Pumpe ist mechanisch einfach aufgebaut, einfach zu bedienen und erzielt eine verhältnismäßig hohe Fördermenge. Mit einer Pumphöhe von bis zu 15m bietet sie einen Vorteil gegenüber Vakuumkolbenpumpen. Da sich der Kolben unterhalb des Grundwasserspiegels befindet, ist kein Befeuchten zu Beginn des Pumpvorgangs nötig. Dies reduziert das Risiko von Kontaminationen. Da die meisten im Pumploch liegenden Komponenten aus Kunststoff sind, ist die Pumpe korrosionsresistent und kann sogar in aggressivem Wasser eingesetzt werden. Generell arbeitet die Pumpe mit hoher Zuverlässigkeit und wird verbreitet eingesetzt.

„Direct Action"-Pumpen besitzen ein hohes „Community Management"-Potential und können leicht auf Ebene der Kommune betrieben werden. Dass die Pumpen nicht über eine Hebelkonstruktion oder Auflagerung verfügen, vereinfacht die Wartung. Sobald die Steigrohre und Kolbenstangen miteinander verbunden sind, müssen sie für die Wartung nicht mehr auseinander genommen werden, da die Rohre flexibel genug sind, um sie am Stück aus dem Brunnen oder Bohrloch herauszunehmen. Somit ist guter Zugang zu den unterirdisch liegenden Komponenten gewährleistet. Generell werden für die Wartung lediglich einfache Werkzeuge benötigt, eine örtliche Betreuungsperson kann alle Wartungsaktivitäten durchführen (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003, RWSN 2012, UNICEF 2010, Water Africa 2013).

Nachteilig ist in erster Linie der fehlende Hebelarm und so der größere Kraftaufwand zum Pumpen von Wasser – und daraus resultierend die begrenzte Förderhöhe verglichen mit anderen „Direct Lift"-Pumpen.

Obwohl die Verwendung von Kunststoff für diesen Pumpentyp viele Vorteile hat, birgt sie auch Nachteile. Zum einen entsteht aus aussortierten Pumpenteilen Plastikmüll. Zum anderen können beschädigte Metallteile von Pumpen durch lokale Schmiede ggfls. repariert oder ersetzt werden, was bei Kunststoffkomponenten nicht möglich ist.

Auch sind je nach Hersteller unterschiedliche Möglichkeiten zur lokalen Produktion gegeben. So ist zum Beispiel bei der Marke „Nira AF-85" keine lokale Produktion vorgesehen; es handelt sich um ein geschütztes Produkt, das allerdings neben der Hauptproduktion in Finnland noch durch zwei Tochterunternehmen in Ghana und Tansania produziert wird. Dagegen bieten die Pumpen der Marken „Tara" und „Malda" die Möglichkeit der Produktion in Entwicklungsländern und werden z.B. in Indien, Bangladesh und Malawi hergestellt.

Potentielle Schwachstellen liegen in der Abnutzung von Dichtungsscheiben, Kolben und Teilen des Fußventils sowie der Erosion der Abdichtungen von PVC-Zylinder sowie zwischen Kolbenstangen und Steigleitung. Außerdem kann es zu Bruch oder Beschädigung des Griffs kommen (Brikké, Bredero 2003, UNICEF 2010).

Wartungsaktivitäten

die Instandhaltung von „Direct Action"-Pumpen ist einfach und kann Nutzern oder der für die Wartung verantwortlichen Person oftmals innerhalb weniger Stunden beigebracht werden. Für präventi-

ve Wartungsarbeiten werden normalerweise lediglich eine oder zwei Personen benötigt. Tägliche Aufgaben beinhalten das Überprüfen der Pumpleistung und das Aussehen des Wassers (ist es schlammig, muss das Bohrloch gereinigt werden) sowie das Sauberhalten des Pumpensockels.

Im Gegensatz zu Vakuumkolbenpumpen besitzen „Direct Action"-Pumpen im Pumploch liegende Komponenten, die zu Wartungs- und Reparaturzwecken regelmäßig zugänglich gemacht werden müssen. Einmal im Jahr sollte die Pumpe daher ausgebaut und geprüft werden. Dies ist aufgrund der Flexibilität des Rohrsystems relativ einfach, so dass lediglich einfache Werkzeuge benötigt werden, um den gesamten Pumpenkörper sowie die Steigleitung und das Fußventil herauszunehmen. Die Wartungsarbeiten können auf Ebene der Gemeinde organisiert werden, und da die Instandhaltung relativ einfach ist, kann durch gute Organisation ein verlässlicher Betrieb gewährleistet werden (Brikké, Bredero 2003, RWSN 2012, UNICEF 2010).

2.3.6 Druckpumpen

Unter Druckpumpen versteht man Pumpen, die auf den gleichen Funktionsprinzipien beruhen wie die oben genannten Kolbenpumpen, jedoch das Wasser nicht nur bis zum Auslassrohr, sondern gegen ein Gefälle / Druck auf ein höheres Niveau pumpen, um beispielsweise Vorratstanks zu füllen. Im Gegensatz zu den vorab beschriebenen Pumpen, sind die Pumpen oben geschlossen, so dass ein Druck aufgebaut werden kann, und verfügen über Luftkammern (sog. Windkessel), die den schwankenden Förderstrom ausgleichen. Druckpumpen gibt es sowohl für niedrige Förderhöhen bis zu 7m, wobei sie nach dem Prinzip von Vakuumkolbenpumpen funktionieren, als auch zur Förderung aus größeren Tiefen nach dem Prinzip der „High Lift"-Kolbenpumpe, deren Zylinder und Kolben unten im Bohrloch liegen (siehe Abb. 38) (Okuni 2003).

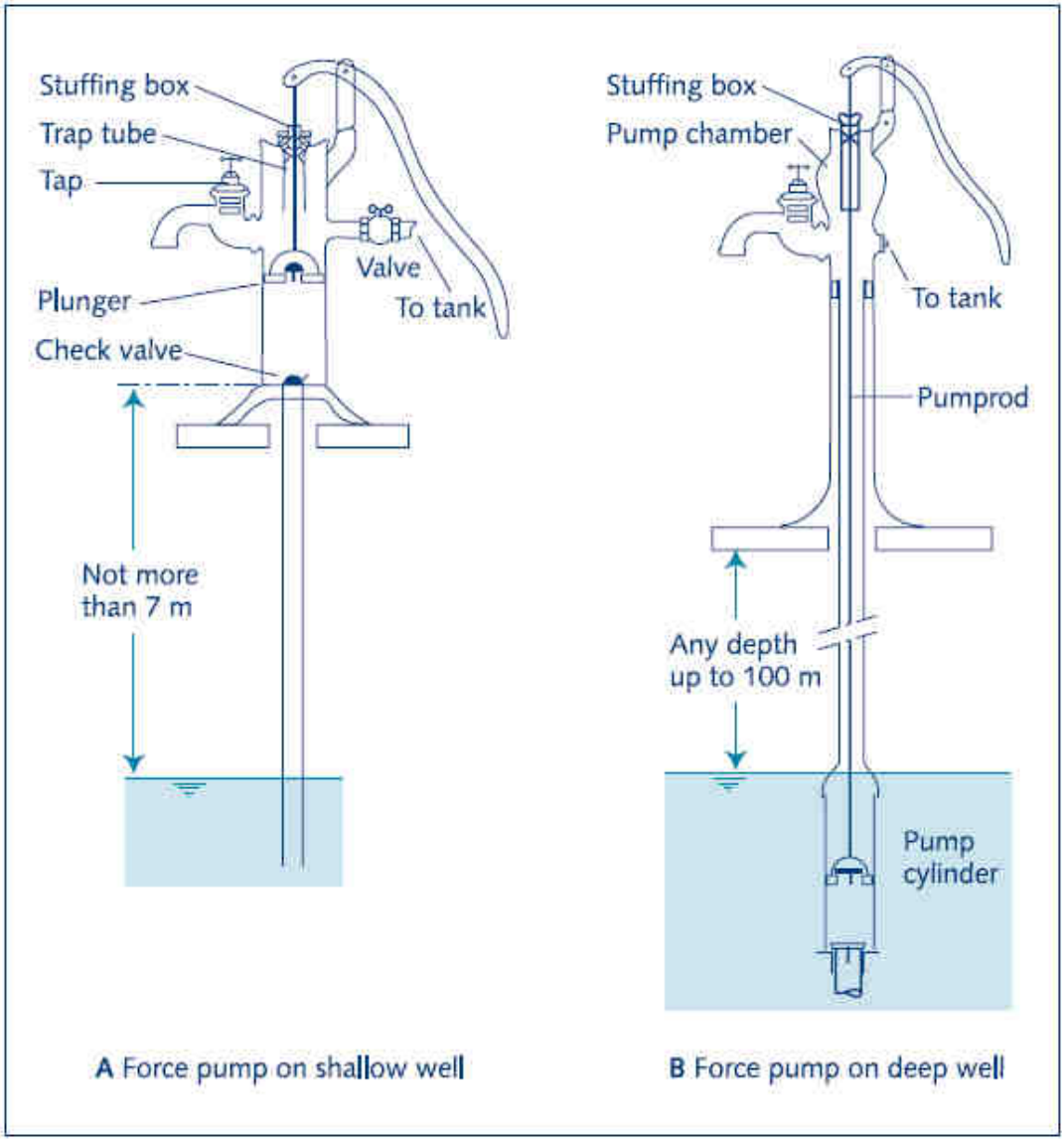


Abb.: 38: Funktionsprinzip von Druckpumpen

2.3.7 Anmerkung zum Antrieb von Hubkolbenpumpen

Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich mit dem Einsatz von Hubkolbenpumpen als Handpumpen. Mit Muskelkraft betrieben können selbst „High Lift"-Pumpen zumeist nur bis zu einer Pumphöhe von 45m eingesetzt werden. Werden diese mit einem Motor oder mittels Solar- oder Windenergie betrieben, kann aus größeren Tiefen von bis zu 100 - 180m gefördert werden. Allerdings besteht bei Tiefen über 60m eine verstärkte Gefahr von Brüchen der Kolbenstange.

Bei einem maschinellen Betrieb ist allerdings zu beachten, dass Kolbenpumpen eine relativ hohe Startenergie benötigen. Zur Lösung dieses Problems empfiehlt sich eine Kupplungsvorrichtung, die dem Motor erlaubt, erst im Freilauf das Tempo zu steigern, bis die nötige Startkraft für den Pumpbetrieb erreicht ist. Am Beispiel einer Windpumpe bedeutet dies, dass bei Vorhandensein einer entsprechenden Kupplungsvorrichtung ein Rotor mit sechs Blättern für Start und Betrieb ausreichen kann, während ohne entsprechende Kupplung ein 16- oder 24-blättriger Rotor benötigt wird. Eine alternative Methode zur Reduzierung der benötigten Startenergie liegt darin, den Kolben mit einem kleinen Loch zu versehen. Die unterschiedliche Belastung, die die Hub- und Senkbewegungen des Kolbens auf den Antriebsmotor ausüben, ist ein weiteres Problem. Die Betriebsgeschwindigkeit muss

deshalb relativ niedrig gehalten werden und sollte nicht viel mehr als 50 Takte/min betragen, um Frequenz und Auswirkung der Lastumkehrung im Pumpensystem zu beschränken (Brikké, Bredero 2003, Hofkes 1986, Okuni 2003).

2.4 Membranpumpen

Membranpumpen zählen ebenfalls zu den **Verdrängerpumpen** und werden auch als Diaphragma-Pumpen bezeichnet. Ihr Funktionsprinzip ist eine Abwandlung der Kolbenpumpen, wobei jedoch das zu fördernde Medium durch eine Membran vom Antrieb getrennt ist. Die Förderung durch Verdrängung geschieht hierbei über ein Ausdehnen und Zusammenziehen einer Membran.

Dabei kann die Bewegung der Membran entweder direkt mittels mechanischer Kraftübertragung geschehen oder hydraulisch über Flüssigkeit, mittels Druckluft (pneumatisch) oder elektromagnetisch (UNICEF 2010, Wikipedia: Membranpumpe 2013).

2.4.1 Funktionsweise

Generell beruht die Funktionsweise auf dem in Abb. 30 dargestellten Prinzip.

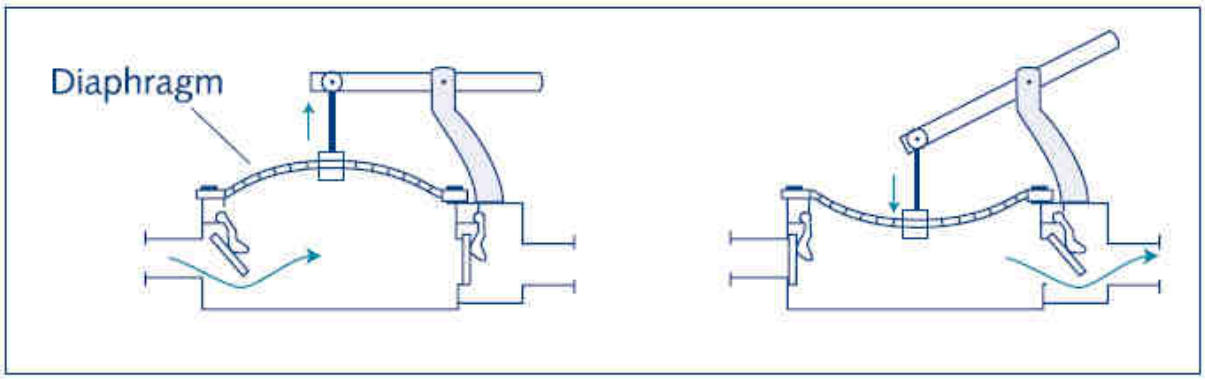


Abb. 39: Grundlegende Funktionsweise einer Membranpumpe

Dabei ist das linke Ventil analog zum Einlassventil einer Kolbenpumpe und öffnet sich durch den entstehenden Unterdruck im Pumpraum bei Ausdehnung der Membran nach außen. Wird die Membran in den Pumpraum hineingedrückt, öffnet der Druck das Auslassventil (rechts) und befördert das Wasser zum Auslass.

Allerdings muss in der Ausführung zwischen zwei unterschiedlichen Arten von Membranpumpen unterschieden werden.

Membranpumpe mit direktem Antrieb

Direkt mechanisch betätigte Membranpumpen wie oben abgebildet werden häufiger zu Be- oder Entwässerungszwecken genutzt als zur Förderung von Trinkwasser. Das Kernstück der Pumpe ist die an den Rändern des Pumpenraumes befestigte Membran, eine flexible Scheibe aus Gummi, Metall, Kunststoff oder Leder. Diese ist direkt mit einem Hebelarm versehen, über den die Membran auf und ab bewegt wird, so das Wasser durch die Rückschlagventile am Ein- und Ausgang bewegt wird. Die Betätigung des Hebels kann dabei per Hand oder über Fußpedale geschehen. Je nach Einsatzzweck gibt es hierzu verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Abwandlungen (FAO 1986, Lemser 2006).

Abb. 40: Bewässerung mittels Membranpumpe (Bangladesh)

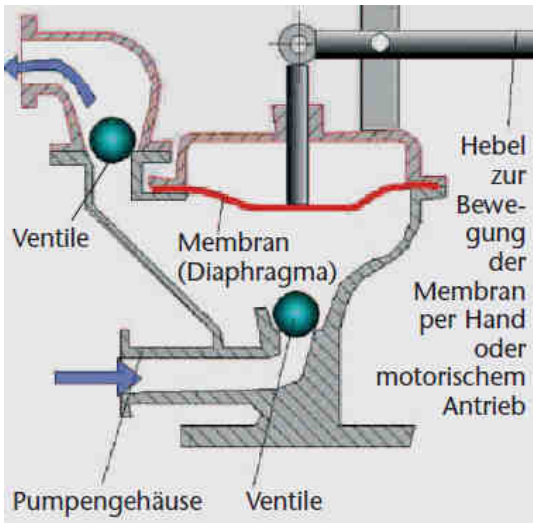


Abb. 41: Prinzip einer Membranpumpe

„Hydro-Pumpe“

Bei der auch als „Hydro-Pumpe“ bezeichneten Membranpumpe zur Förderung von Trinkwasser handelt es sich um eine Kombination zweier nebeneinander liegender Wasserkreisläufe. Dabei erfolgt die Wasserförderung mittels einer sich ausdehnenden und zusammenziehenden Membran, die hydraulisch über eine sekundäre Kolbenpumpe angetrieben wird, die wiederum über ein Pedal oder einen Hebelarm betätigt wird.

Abb. 42: Betrieb einer pedalbetriebenen Membranpumpe

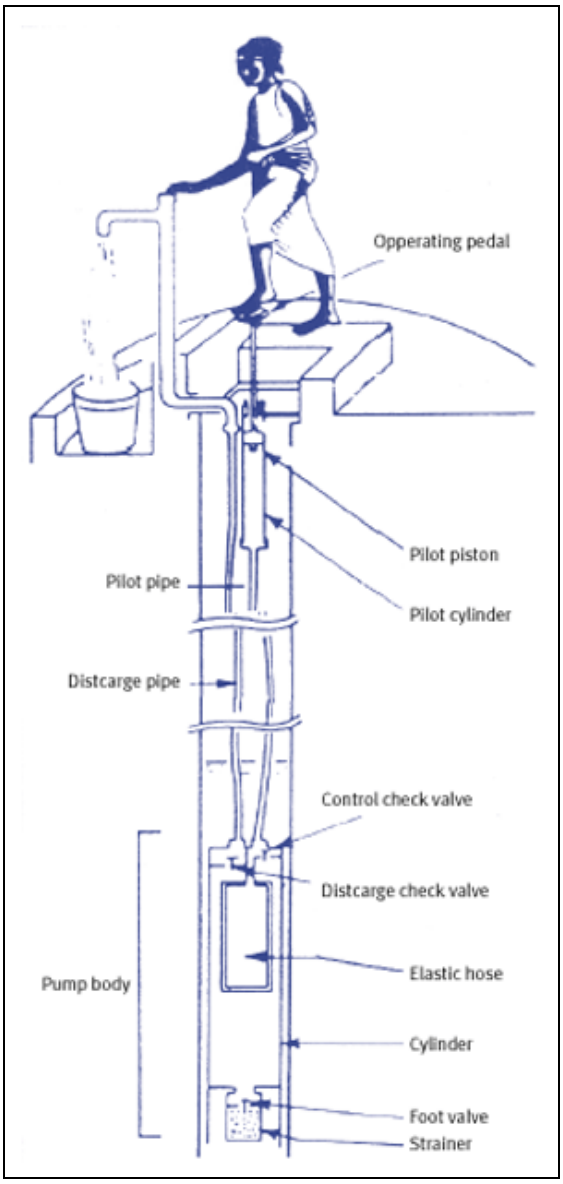


Abb. 43: Schematischer Aufbau einer „Hydro-Pumpe“

Das Wasser wird über einen am Grund des Bohrlochs gelegenen zylindrischen Pumpenkörper gefördert. In diesem liegt die Membran in Form einer Art Gummi-Blase. Zieht sich diese zusammen, strömt Wasser durch das Einlassventil an der Unterseite des Pumpkörpers ein, dehnt sie sich aus, schließt sich das Einlassventil, und das Wasser wird vom sich ausdehnenden Membrankörper durch das Auslassventil nach oben in eine biegsame Steigleitung gedrückt.

Die Bewegung der Membran wird durch einen separaten hydraulischen Kreislauf ausgelöst, der aus einem Zylinder und einem Kolben im Pumpensockel besteht, der über ein wassergefülltes, biegsames Pilotrohr (bzw. -schlauch) mit der Membran verbunden ist. Der Kolben wird meist über ein Pedal nach unten gedrückt, wobei hierfür die Verwendung eines Hebelgriffs ebenso möglich ist. Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens wird Wasser in die Membran gedrückt, die sich daraufhin wie ein schlauchförmiger Ballon aufbläht. Wird der Druck des Fußes vom Pedal genommen, drückt die Elastizität der Membran das Wasser im Pilotrohr wieder nach oben, so dass das Fußpedal wieder angehoben und im Pumpenkörper Wasser durch das Einlassventil nachströmt (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Okuni 2003, WaterAid 2012).

2.4.2 Verwendung

Als oben beschriebene Hand- und Fußpumpe zur Förderung von Trinkwasser finden Membranpumpen in vielen afrikanischen Ländern wie z.B. Burkina Faso, Kamerun, Ghana, Liberia, Mali, Mauretanien und Niger Verwendung. Daneben werden andere Membranpumpensysteme mit direktem Antrieb vornehmlich zu Be- und Entwässerungszwecken in der Landwirtschaft oder z.B. im Baustellenbetrieb eingesetzt. Dabei werden häufig portable Geräte verwendet wie z.B. eine vom „International Rice Research Institute“ (IRRI) auf den Philippinen entwickelte fußbetriebene doppelt-wirkende Membranpumpe zur Bewässerung. Daneben dienen sie oft zum Umpumpen kleinerer Flüssigkeitsmengen und sind ein gängiges Arbeitsgerät der Feuerwehren im Gefahrguteinsatz (FAO 1986, Brikké, Bredero 2003, Wikipedia: Membranpumpe 2013).

Pumphöhe

Einfache Membranpumpen mit direktem Antrieb sind vergleichbar mit Kolbenpumpen mit einem großen Durchmesser und kurzem Hub, daher sind die über die Kolbenstange wirkenden Kräfte im Vergleich zu Pumphöhe und Hubvolumen relativ hoch. Dies verursacht eine starke Belastung auf die übertragenden Komponenten sowie den Verbindungspunkt von Kolbenstange und Membran. Deshalb eignet sich dieser Typ von Membranpumpen lediglich für geringe Pumphöhen von 5 - 10m.

Die Pumphöhe der „Hydro-Pumpe“ liegt bei 10 - 60m, ein spezielles Modell kann sogar Wasser aus einer Tiefe von 130m fördern (FAO 1986, Vergnet Hydro 2013).

Fördermenge

Die Fördermenge einer „Hydro-Pumpe” liegt bei 0,50 Liter/sec bei 10m Tiefe, 0,32 Liter/sec bei 30m und 0,24 Liter/sec bei einer Förderhöhe von 45 m (Brikké, Bredero 2003).

Handelsnamen

Derzeit ist die französische Firma Vergnet einziger Hersteller des geschützten Produkts. Eine Variante davon wurde eine Zeit lang unter dem Namen Abi-ASM an der Elfenbeinküste hergestellt, allerdings wurde die Produktion inzwischen eingestellt (Brikké, Bredero 2003, WaterAid 2012).

2.4.3 Vor- und Nachteile

Die Vorteile von Membranpumpen liegen generell in ihrer Unempfindlichkeit gegen Sand oder andere Verunreinigungen des zu fördernden Wassers, da diese die Funktion der Membran nicht beeinträchtigen bzw. der Kolbenantrieb aufgrund der getrennten Wasserkreisläufe von schädlichen Einflüssen abgeschirmt bleibt. Auch besteht hier nicht das Problem der Abdichtung des Kolbens und der Kolbenstange.

Die mechanische Effizienz der direkt angetriebenen Membranpumpen ist höher als die von Kolbenpumpen, da bei der Bewegung der Membran wesentlich weniger Reibung entsteht als bei der Bewegung eines dicht sitzenden Kolbens in einem Zylinder. Auch lässt sich so der Saugdruck besser aufrechterhalten, und es sind teilweise größere Förderhöhen möglich als bei Vakuumkolbenpumpen.

„Hydro-Pumpen“ besitzen im Vergleich zu anderen Tiefbrunnen-Pumpen den Vorteil, dass aufgrund der Verwendung von Kunststoffschläuchen als Steigleitung und Pilotrohr der Transport und die Installation einfach sind, das Bohrloch nicht vertikal sein muss, das Herausnehmen des Pumpkörpers zu Wartungszwecken ebenfalls relativ einfach ist, und das Pumpensystem weitgehend korrosionsresistent ist. Aufgrund des guten Zugangs zu möglichen Verschleißteilen am Grund der Pumpe, ist der Austausch von Ersatzteilen normalerweise einfach – zum Austausch der Membran wird jedoch ggfls. die Unterstützung eines geschulten Mechanikers benötigt. Aufgrund des Aufbaus der Pumpe kann außerdem auch ein höher gelegenes Wasserreservoir ohne Mehrkosten gefüllt werden.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass mehrere Pumpen zusammen in einem Bohrbrunnen oder Bohrloch installiert werden können.

Der Hauptnachteil von Membranpumpen liegt in der Anschaffung der Membran, die in relativ kurzen Zeitintervallen ausgetauscht werden muss. Zwar sind die restlichen Wartungskosten niedrig, für eine entsprechende Lebensdauer wird jedoch eine hohe Qualität der Membran benötigt, weshalb deren Ersatz teuer sein kann. Auch liegt den Membranpumpen ein relativ komplexes Funktionsprinzip zugrunde, und ein Austausch der Membran ist nicht ganz einfach durchzuführen, weshalb eine umfassende Schulung der für die Pumpe zuständigen Person nötig ist. Verfügt eine Gemeinde nicht über die nötigen finanziellen Mittel zum wiederholten Ersatz der Membran, oder ist kein entsprechender Mechaniker verfügbar, können die Nutzer zeitweise gezwungen sein, auf traditionelle, ungesicherte Wasserstellen auszuweichen.

Auch kann der Zugang zu Ersatzteilen schwierig sein, und eine Improvisation mit lokalen Materialien ist kaum möglich. Mittlere Kenntnisse in der Stahlherstellung und -bearbeitung sind nötig, um den Pumpenstand zu fertigen, zur Produktion des Pumpelements werden allerdings fortgeschrittene Produktionstechniken sowie eine strikte Qualitätskontrolle benötigt, weshalb diese Bauteile wohl importiert werden müssen.

Ein undichtes Anliegen des Kolbens kann dazu führen, dass Wasser nach oben tritt, und das Pedal mit der Hand nach oben bewegt werden muss (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Okuni 2003, UNICEF 2010, WaterAid 2012, Wikipedia: Membranpumpe 2013).

2.4.4 Wartungsaktivitäten

Zu den täglichen Wartungsaktivitäten zählen das Sauberhalten des Pumpkopfes und der Plattform sowie ggfls. das Nachziehen von Bolzen und Muttern. Dichtungsringe, Kolben und Führungshülse sollten einmal monatlich geprüft und bei Bedarf ausgetauscht werden. Geraten Feststoffe in den unterirdischen Pumpenkörper, muss dieser ausgebaut und gesäubert werden, da dies dazu führen kann, dass die Membran nicht mehr arbeitet oder sogar Schaden nimmt. Einmal im Jahr sollte die gesamte Pumpe ausgebaut, geprüft und gereinigt werden. Dabei kann die Pumpe von der zuständigen Person der Gemeinde innerhalb von einer halben Stunde ausgebaut und wieder installiert werden, wofür lediglich ein Schraubenschlüssel benötigt wird. Im Kontrast dazu ist der Austausch der Membran eine größere Aufgabe. Dies muss alle zwei bis fünf Jahre geschehen, manche Membranen werden mit 3-Jahres-Garantie geliefert. Hierfür ist eine speziell ausgebildete Person nötig (manchen gelingt es auch, beschädigte Membranen zu reparieren).

Tiefbrunnen-Membranpumpen sind typischerweise kommunale Pumpen, und das Wasser-Komitee sollte jemanden, der in der Nähe der Pumpe wohnt, zu ihrer Betreuungsperson ernennen. Dieser sollte in der Wartung und allgemeinen Hygienemaßnahmen geschult sein. Das Komitee sollte in der Lage sein, schnell Kontakt zum örtlichen Mechaniker aufnehmen zu können, und muss über finanzielle Mittel zur Barbezahlung von Reparaturen verfügen. Oftmals bietet der Hersteller der Pumpe auch Unterstützung für die Wartung an (Brikké, Bredero 2003, WaterAid 2012)

2.5 Kreiselpumpen (Centrifugal pumps)

Kreiselpumpen zählen zu den Strömungspumpen. Bei Strömungsmaschinen wird die Energieübertragung ausschließlich durch strömungsmechanische Vorgänge bewirkt. Sie arbeiten nach dem hydrodynamischen Prinzip, was bedeutet, dass sie Schwungkraft nutzen, um Flüssigkeit zu fördern. Zum Betrieb von Kreiselpumpen ist ein mechanisierter Antrieb nötig.

Je nach Austrittswinkel des Fördermediums im Vergleich zur Eintrittsrichtung kann zwischen Axialpumpen, Diagonalpumpen und Radialpumpen unterschieden werden (Brikké, Bredero 2003, Lemser 2006, Wikipedia: Kreiselpumpen 2013, Wikipedia: Pumpen 2013).

2.5.1 Geschichtlicher Hintergrund

Eine Wasserfördermaschine, die laut dem italienischen Wissenschaftshistoriker Ladislao Reti „als Prototyp der Kreiselpumpe bezeichnet werden muss“, ist im Schriftstück „Trattato di Architettura“ des italienischen Künstler-Ingenieurs Francesco di Giorgio Martini (um 1475) enthalten. Im Jahr 1689 erfand der Physiker Denis Papin die Kreiselpumpe. Heute ist dies die weltweit meistverwendete Pumpenbauart (Wikipedia: Kreiselpumpen 2013).

2.5.2 Funktionsweise

Der Aufbau und die Funktionsweise von Kreiselpumpen sind in Abb. 44 dargestellt.

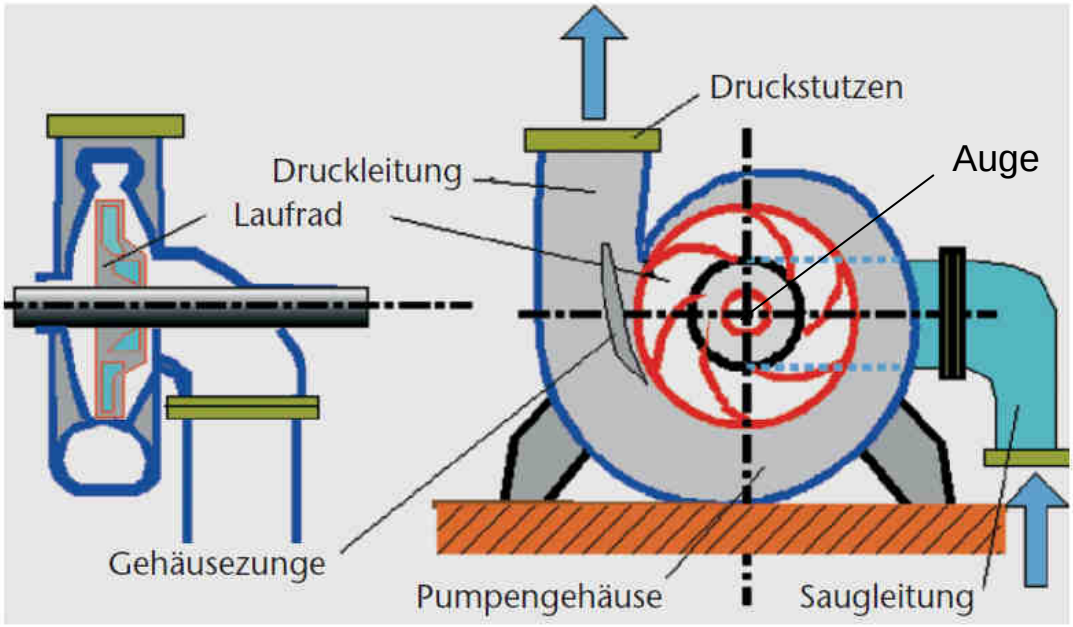


Abb. 44: Schnitt und Prinzipskizze einer Kreiselpumpe

Die essentiellen Komponenten einer Kreiselpumpe sind ein sich schnell drehendes Laufrad und das Pumpengehäuse. Das Laufrad ist ein Rad mit vom Zentrum nach außen gerichteten Schaufeln. Das Fördermedium gelangt über die Saugleitung in das „Auge“ des rotierenden Laufrads. Wenn es sich schnell genug dreht, überträgt das Laufrad kinetische Energie auf das Wasser, reißt es mit, beschleunigt es zentrifugal und zwingt es nach außen ins Pumpengehäuse. Durch die Bewegungsenergie und die Form des Pumpengehäuses erhöht sich der Druck innerhalb der Pumpe und presst das Wasser in das Druckrohr. Somit wird die Geschwindigkeitserhöhung des Wassers im Druckstutzen der Kreiselpumpe in Förderhöhe umgesetzt. Das Wasser, das aus dem Laufrad nach außen gelangt, verursacht eine Saugwirkung in der Mitte des Rads, wodurch Wasser aus dem Bohrloch durch die Saugleitung nachgezogen wird (Brikké, Bredero 2003, Fristam Pumpen 2012, Lemser 2006, Okuni 2003, Wikipedia: Kreiselpumpen 2013, Wikipedia: Pumpen 2013).

Das Pumpengehäuse kann optional aus Gusseisen, Alu, Bronze oder Edelstahl bestehen, teilweise auch mit Kunststoff-Ummantelung. Aluminium reduziert die Eigenmasse der Geräte, hat jedoch auch seinen höheren Preis. Auch bei den Laufrädern bieten die Hersteller Gusseisen, Alu oder rostfreien Edelstahl an. Die Laufräder sind offen oder geschlossen und verschieden gestaltet (siehe Abb. 45).

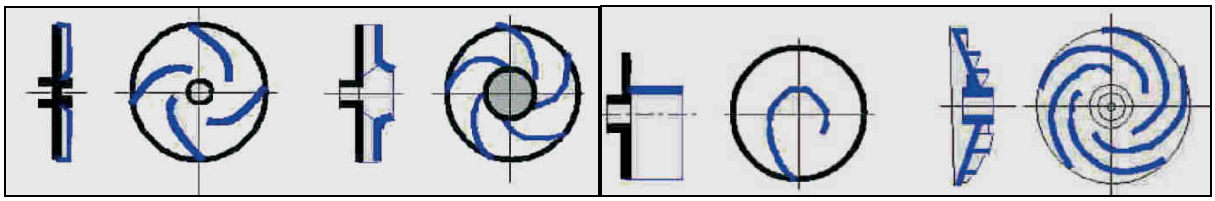


Abb. 45: Verschiedene Formen von Laufrädern in Kreiselpumpen

Die Laufräder sind Verschleißteile der Pumpen, die schnell auszuwechseln sind. Auch die Dichtungssysteme sind bei einigen Herstellern in unterschiedlichen Ausführungen zu haben. Die Wahl hängt von den Einsatzbedingungen ab und ist eine erstrangige Kostenfrage. Je nach Gestaltung der Pumpen, z.B. mit großen weiten Kanälen in den Laufrädern, können Kreiselpumpen auch verunreinigte, schlammige Flüssigkeiten fördern (Lemser 2006).

Antrieb

Der Antrieb von Kreiselpumpen erfolgt maschinell über einen Elektromotor. Dieser kann entweder über einen Netzanschluss, mittels Batterie /Generator-Betrieb oder durch die Nutzung regenerativer Energien angetrieben werden. Außerdem gibt es relativ neue Kleinprojekte, in denen kleine Kreiselpumpen über Fahrräder angetrieben werden. Hierbei wird der Rotor des Elektromotors über das Hinterrad in Drehung versetzt, was die Pumpe somit quasi zu einer hand- bzw. fußbetriebenen Pedalpumpe macht (University of Sheffield 2010).

Abb. 46: Fahrradantrieb einer Kreiselpumpe

Förderhöhe

Da die Förderhöhe von Kreiselpumpen vom Druck, der im Pumpengehäuse produziert wird, abhängig ist, kann mit einem Laufrad eine maximale Förderhöhe von etwa 50m erlangt werden. Ist die erforderliche Förderhöhe (Pumpdruck) höher, als eine einfache Kolbenpumpe bewältigen kann, können mehrere Laufräder nacheinander geschaltet werden (**Mehrstufige Kreiselpumpe**). Die nacheinander wirkenden Laufräder sind über eine gemeinsame Achse verbunden und rotieren deshalb mit gleicher Geschwindigkeit. Dabei passiert das Wasser die einzelnen Stufen mit zunehmender Geschwindigkeit pro Stufe. So können Förderhöhen von mehr als 200m bewältigt werden. Anders als bei Kolbenpumpen sinkt bei Kreiselpumpen jedoch der Förderstrom mit steigender Förderhöhe und umgekehrt (Brikké, Bredero 2003, Lemser 2006, Okuni 2003).

Fördermenge

Die Fördermenge variiert stark und hängt von Bauart, Durchmesser und Anzahl der Laufräder, den Bedingungen des Einsatzortes sowie der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kreiselpumpe ab. Dabei nimmt die Pumpeffizienz normalerweise mit steigender Drehzahl zu. Höhere Drehzahlen können allerdings häufigere Wartungen erfordern. Daher sollte versucht werden, ein ausgewogenes Verhältnis von Anschaffungskosten und Instandhaltungskosten zu erreichen (Lemser 2006, Okuni 2003).

2.5.3 Vor- und Nachteile

Ein großer Vorteil der Kreiselpumpen liegt in der kontinuierlichen Wasserförderung. Nicht zuletzt aufgrund der Möglichkeit der Verschaltung mehrerer Stufen existiert außerdem eine große Bandbreite an verschiedenen Modellen, so dass für die jeweiligen Einsatzbedingungen optimale Varianten gewählt werden können. Kreiselpumpen sind verschleißteilarm und besitzen im Gegensatz zu Kolbenpumpen weniger Ventile oder Dichtungen.

Kreiselpumpen können nur maschinell betrieben werden und sind somit schadensanfälliger als Handpumpen. Für die Nutzer stellt dies jedoch eine körperliche Entlastung dar. Nachteilig ist die Abhängigkeit von Fremdenergie, wobei jedoch von Vorteil ist, dass diese auch aus der Nutzung regenerativer Energiequellen stammen kann (Solarpumpen). Das Anlaufdrehmoment ist relative niedrig, was ein zusätzlicher Vorteil für den Betrieb durch Wind- oder Solarkraft ist.

Aus dem Wirkprinzip erklärt sich eine unangenehme Eigenschaft der Kreiselpumpen: wenn sie leer sind, können sie nicht genügend Unterdruck auf der Saugseite entwickeln, um sich mit Flüssigkeit zu füllen. Erst dann setzt nämlich das Wirkprinzip ein. Sie sind nicht selbstansaugend, wenn keine konstruktiven Vorkehrungen getroffen werden. Solche sind beispielsweise die Anordnung einer Gehäusezunge (Abb. 44), womit die Wirkung einer Strahlpumpe erreicht wird und der Pumpenraum gefüllt wird, oder die Anordnung eines kleinen sehr gut abgedichtet laufenden Pumpenrades, das ebenfalls zunächst den Pumpenraum füllen kann. Das Füllen von Hand ist die ’ultima ratio’, wird aber auch angewendet.

Hauptnachteile liegen in den Kosten der Pumpe, dem Bedarf einer verlässlichen Strom- oder Treibstoffzufuhr sowie der Notwendigkeit einer ausgebildeten Fachkraft für Wartung und Reparatur.

Ein weiterer Nachteil von Kreiselpumpen liegt darin, dass die Saughöhe auch hier nur bei maximal 7m liegt. Einige Pumpen verfügen deshalb über Vorrichtungen zu einer zusätzlichen Wassereinspeisung, die eine Erhöhung des Saugdrucks erzeugt und so zu einer etwas größeren möglichen Saughöhe führt. Darüber hinaus müssen so genannte **Unterwasser-** oder **Tauchpumpen** verwendet werden > siehe Kapitel 2.5.5 (Brikké, Bredero 2003, Lemser 2006, Wikipedia: Pumpen 2013).

2.5.4 Wartungsaktivitäten

Während des Betriebs müssen der Zustand des Motors, die Fördermenge und die Temperatur der Lager überwacht und eventuelle Vibrationen festgehalten werden. Bei manchen Modellen müssen vor dem Ausschalten der Pumpe Ventile manuell geschlossen werden, um Wasser im Pumpgehäuse anzustauen. Läuft das Gehäuse leer, muss zum Starten der Pumpe sauberes Wasser eingefüllt werden, da die meisten Kreiselpumpen nicht selbstansaugend sind.

Pumpe und Motor müssen sauber gehalten werden. Es empfiehlt sich, über Betriebszeiten, aufgetretene Probleme, Überprüfungen, Wartung und Reparaturen Buch zu führen. Einmal jährlich sollte die Pumpe demontiert und die Saugleitung entnommen und geprüft werden. Einlasssieb, Einlassventil und Rohrgewinde sollten überprüft und beschädigte oder korrodierte Gewinde nachgeschnitten werden. Stark korrodierte Rohre sollten ausgetauscht werden. Evtl. benötigt das Einlassventil einen neuen Dichtungsgummi oder muss ersetzt werden.

Alle weiteren Reparaturen, wie der Austausch von Lagern oder Laufrad, sind teuer und sollten von qualifizierten Fachkräften durchgeführt werden. Kreiselpumpen sind für die vollständige Wartung auf Ebene der Gemeinde nicht geeignet, sondern bedürfen einer Organisation, die sich um die Ausbildung und den zuverlässigen Einsatz einer Fachkraft sowie das Sammeln von Geldern zur Unterstützung der Instandhaltung der Pumpe kümmert. Im Fall eines Schadens muss das Pumpen-Komitee in der Lage sein, einen ausgebildeten örtlichen Mechaniker schnell zu mobilisieren. Kreiselpumpen sind für bestimmte Förder- und Druckbereiche ausgelegt, und es ist wichtig, dass die Eigenschaften der Pumpe und die Betriebsbedingungen von jemandem mit entsprechender Ausbildung sorfältig abgestimmt werden (Brikké, Bredero 2003).

2.5.5 Unterwasser(tauch)pumpen (Submersible pumps)

Aus einer mehrstufigen Kreiselpumpe bestehende Unterwasserpumpen sind unabhängig von der maximalen Saughöhe, da sie ähnlich wie „Direct Lift"-Pumpen unterhalb der Wasseroberfläche platziert werden. Hierzu sind ein hermetisch abgeschlossener Elektromotor und eine i.d.R. mehrstufige Kreiselpumpe in einem Mantelrohr (Pumpengehäuse) untergebracht und tauchen in das im Brunnenrohr anstehende Wasser ein. Die mehrstufige Pumpe sitzt dabei oberhalb des Motors und unter einem Einlassventil, das zur Steigleitung führt. Diese kann sowohl aus verzinktem Eisen, rostfreiem Edelstahl oder Kunststoffrohren oder -schläuchen bestehen. Im Falle einer Kunststoffsteigleitung hängt die Pumpe selbst an einem Edelstahlkabel. Damit sie in größere Tiefen reichen können, sind die Pumpensysteme z.T. sehr lang und können ein erhebliches Gewicht haben, so dass sie ggfls. mit einem Hebezeug in die Brunnen eingesetzt werden müssen. Dabei ist darauf zu achten, dass sie nicht gebogen werden, und dass das Stromzuführungskabel nicht beschädigt wird. Der Elektromotor wird durch das vorbeiströmende Wasser gekühlt, was dadurch begünstigt wird, dass das Wasser im Mantelrohr zuerst dem unten sitzenden Motor zufließt. Unterwasserpumpen existieren in unterschiedlichen Größen und sind auch in sehr kleinen Abmessungen speziell für die Hauswasserversorgung zu erhalten.

Tauchpumpen sind selbstansaugend, solange sie nicht trockenlaufen. Um dies zu verhindern, empfiehlt es sich, den Wasserstand im Brunnen zu beobachten, um die Pumpe anzuhalten, wenn der Wasserstand bis auf Höhe des Pumpeneinlaufs fällt.

Strom wird über ein isoliertes Kabel zugeführt, das mit einer Schalteinheit seitlich des Bohrlochs verbunden ist. Der Strom kann aus einem Netzstromanschluss, einem Generator oder einem Solarenergiesystem stammen (Brikké, Bredero 2003, Lemser 2006, UNICEF 2010).

Abb. 47: Installation einer Unterwasserpumpe

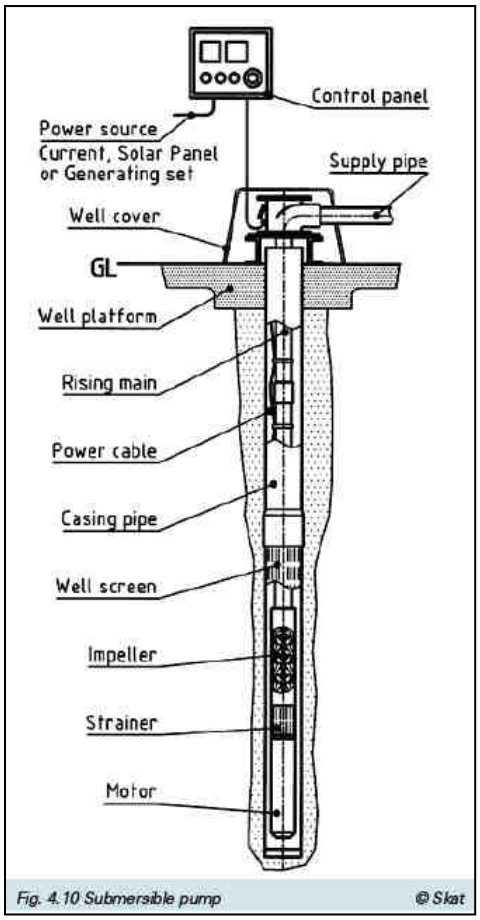


Abb. 48: Aufbau einer Unterwasserpumpe

Vor- und Nachteile

Der Hauptvorteil von Unterwasserpumpen liegt darin, dass ihre Pumphöhe nicht durch die naturgegebene maximale Saughöhe begrenzt ist, da sie unter Wasser arbeiten, und somit Wasser aus tiefen Bohrlöchern in große, höher liegende Tanks pumpen können. Aus diesem Grund sind Unterwasser-

pumpen weit verbreitet. Durch die Lage unter Wasser ergibt sich außerdem der Vorteil, dass es zum Starten keiner Befüllung mit Wasser bedarf.

Nachteilig sind die komplexe Technologie und aufwändige Installation, die Kosten sowie die Abhängigkeit von Fremdenergie und entsprechenden Fachkräften (Brikké, Bredero 2003, UNICEF 2010).

Wartungsaktivitäten

Während des Pumpbetriebs sollten Wasserfluss und Stromverbrauch überwacht werden. Ist das Wasser während der ersten Pumpphasen trüb, korrodiert die Steigleitung. Bleibt das Wasser auch nach den ersten Phasen trüb, müssen Brunnen oder Bohrloch gesäubert werden, da sonst die Pumpe schnell abgenutzt ist.

Wie auch bei oberirdischen Kreiselpumpen sollte über verschiedene Parameter Buch geführt werden, die Wartungsarbeiten auf Ebene der Gemeinde entsprechen denen unter 2.5.4. Zusätzlich müssen Kabel und Isolierung regelmäßig geprüft werden.

Alle anderen Reparaturen wie das Auswechseln des Pumpkörpers erfordern den Einsatz einer qualifizierten Fachkraft. Wartung und Reparatur können somit nicht vollständig von den Gemeinden übernommen werden, obwohl Unterwasserpumpen häufig jahrelang fast ohne Wartung funktionieren. Auch hier müssen Instandhaltung und Reparaturen über ein lokales Komitee oder eine Wasser-Agentur erfolgen (Brikké, Bredero 2003).

2.5.6 Anmerkung

Kreiselpumpen sollten nicht mit Rotationskolbenpumpen (Dreh- und Kreiskolbenpumpen) verwechselt werden – im Englischen auch als „Rotary Pumps“ bezeichnet (wobei darunter auch andere Pumpen, die nach dem Prinzip eines kreisförmigen Fördermechanismus arbeiten, verstanden werden können, wie z.B. Wasserräder oder rundlaufende Seilpumpen).

Dabei handelt es sich um Verdrängerpumpen mit einem rotierenden Verdrängerkörper, bei denen eine kontinuierliche Förderung durch ineinander laufende Drehkolben nach dem unten abgebildeten Prinzip stattfindet.

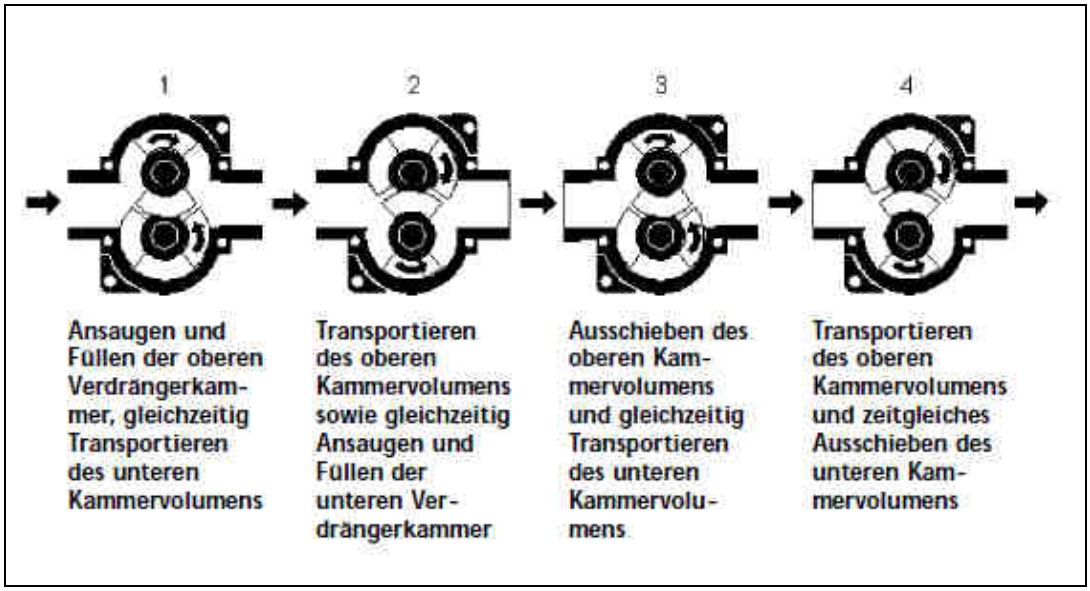


Abb. 49: Förderprinzip einer Drehkolbenpumpe

Das Förderprinzip weist eine Ähnlichkeit mit dem der archimedischen Schraube sowie Exzenterschneckenpumpen auf (siehe oben), jedoch kommen Drehkolbenpumpen weniger in der Wasserförderung zum Einsatz als vielmehr zum Abpumpen verschiedener Medien oder zur Förderung unter speziellen hygienischen Anforderungen, da durch den berührungsfreien Lauf der Rotoren keine Pro-

duktverunreinigung durch Abnutzung entsteht. Einsatzgebiete sind beispielsweise die Landwirtschaft (Biogaspumpe, Tierblutpumpe), der Hochwasserschutz, Küstenschutz (Reinigung von Ölverschmutzungen) sowie die Lebensmittel- und Arzneimittelindustrie (Börger GmbH 2013, FAO 1986, Fristam Pumpen 2012, Mono Pumps 2013, Okuni 2003, Wikipedia: Drehkolbenpumpe 2013).

2.6 Kombinationssysteme mit regenerativen Energieerzeugungstechnologien

In den vorangegangenen Kapiteln wurden in erster Linie handbetriebene Pumpensysteme vorgestellt. Bei einigen dieser Pumpensysteme, wie z.B. den „High Lift"-Pumpen, ist eine Steigerung der Förderhöhe sowie der Fördermenge durch einen maschinellen Antrieb möglich.

Außerdem wurden Kreisel- und Unterwasserpumpen vorgestellt, die für ihren Betrieb einen Elektromotor benötigen.

Neben konventionellen Energiequellen können hierfür auch regenerative Energien wie Solarenergie, Windenergie, Wasserkraft sowie Energie aus Biomasse zur Stromerzeugung oder dem direkten Antrieb genutzt werden.

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Nutzung von Wind- und Solarenergie zum Antrieb von Pumpen zur Trinkwasserförderung.

2.6.1 Windpumpen

In Gegenden in denen über 60% der Zeit Wind mit einer ausreichenden Windgeschwindigkeit von mindestens 2,5 - 3 m/sec herrscht, können Windräder zum Antrieb von Wasserpumpen eingesetzt werden. Dabei muss allerdings zwischen Pumpen zur Wasserförderung und solchen zur landwirtschaftlichen Bewässerung unterschieden werden, da hier die technischen, betrieblichen und ökonomischen Anforderungen generell unterschiedlich sind. Zwar können Windpumpen zur Wasserförderung auch zur Bewässerung eingesetzt werden (und werden dies auch häufig), speziell auf die Bewässerung ausgelegte Pumpen eignen sich aber meistens nicht für die Wasserförderung. Letztere müssen weniger zuverlässig, selbstständig und ausdauernd laufen, größere Wassermengen über geringere Höhen fördern, wobei sie in erster Linie möglichst kostengünstig sein sollen. In diesem Bereich findet sich daher weltweit eine große Zahl unterschiedlicher, indigener und oftmals lokal improvisierter Ausführungen. Windpumpen zur Wasserförderung müssen höheren Anforderungen entsprechen und sind daher meist industriell gefertigt (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Okuni 2003).

2.6.1.1 Geschichtlicher Hintergrund

Wind wird seit vielen Jahrhunderten zum Pumpen von Wasser eingesetzt. So war dies z.B. die erste Methode, mit der weite Teile der Niederlande ab dem 13. Jahrhundert entwässert wurden. Kleinere aus Holz gefertigte Windpumpen wurden für das Entwässern von Poldern (Niederlande) und das Pumpen von Meerwasser zur Salzgewinnung (Frankreich, Spanien und Portugal) verwendet.

Die meist verwendete Windpumpe ist die sog. Amerikanische Farm-Windpumpe, die aus einem stählernen, vielblättrigen fächerartigen Rotor besteht, der eine Hubkolbenpumpe antreibt. Dieser Pumpentyp kam zwischen 1860 und 1900 auf, als große Rinderherden in die nordamerikanischen Präriegebiete eingeführt wurden, zu deren Versorgung das Oberflächenwasser nicht ausreichte. In anderen Siedlungsgebieten der Welt, wie Australien und Argentinien, wurde die Farm-Windpumpe übernommen, und ist heute nach Schätzungen mit einer Stückzahl von einer Million weltweit in regelmäßiger Nutzung. Dabei wird ein Großteil der Pumpen zur Versorgung des Viehs und zur Wasserversorgung von Farmen und kleinen Gemeinden genutzt.

Windpumpen wurden außerdem in Südostasien und China schon vor ihrer Nutzung in Europa eingesetzt – in erster Linie zu Bewässerungszwecken und zum Pumpen von Meerwasser zur Meersalz-Produktion. Die chinesische Segel-Windpumpe, die aus Bambusmasten und Stoffsegeln besteht,

wurde erstmals vor über 1.000 Jahren verwendet, und auch heute noch sind dort zehntausende dieser Pumpen im Einsatz. Ein ähnliches Design wird traditionell in Thailand verwendet (FAO 1986).

Abb. 50: Briefmarke mit Amerikanischer Farm-Windpumpe

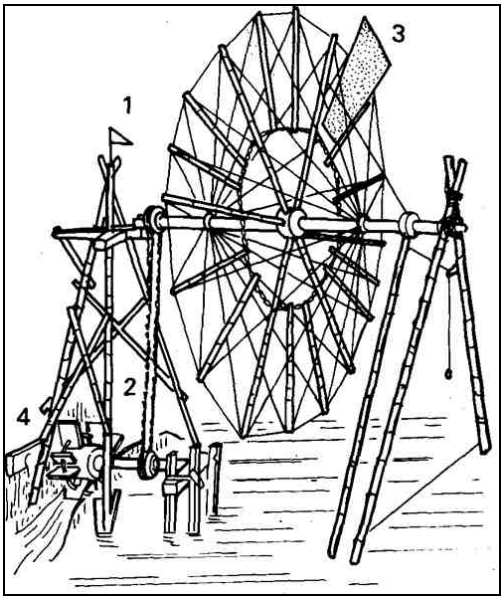


Abb. 51: Skizze einer Chinesischen Segel-Windpumpe

2.6.1.2 Funktionsweise

Windpumpen zur Wasserförderung bestehen normalerweise aus einem Rotor auf einem Stahlmast, der direkt oberhalb einer Kolbenpumpe angebracht ist, deren Kolbenstange mit der Antriebsachse des Rotors verbunden ist. Abb. 52 zeigt drei typische Aufbauten von Windpumpen.

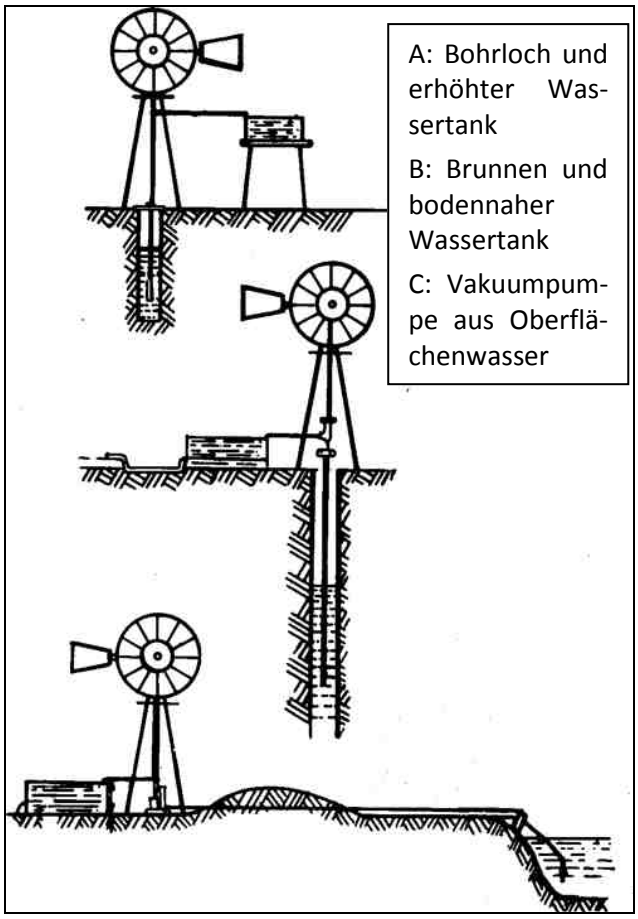


Abb. 52: Verschiedene Windpumpen-Aufbauten

Abb. 53: Installation einer Windpumpe (Marke Poldaw)

Der Rotor wird durch den Wind angetrieben, und die Bewegung wird entweder direkt oder mittels mechanischer oder elektrischer Koppelung zum Antrieb der Pumpe übertragen. Teilweise gibt es auch Vorkehrungen, um in windstillen Perioden das Pumpen per Hand zu ermöglichen.

Bei mechanisch gekoppelten Windpumpen ist der Rotor direkt mit der Pumpe verbunden. Meist werden Kolbenpumpen verwendet, es sind aber auch Membranpumpen in Verwendung. Für Hubkolbenpumpen wird dabei meist eine Kurbelwellen-Kupplung verwendet, während für Drehkolbenpumpen die Ankopplung meist über ein Getriebe oder eine Art Flaschenzug stattfindet. Generell verursacht eine Drehkolbenpumpe eine geeignetere Betriebslast auf den Rotor als eine Hubkolbenpumpe, da die benötigte Energie zum Betrieb der Hubkolbenpumpe während des Pumpzyklus' kontinuierlich wechselt, während eine Drehkolbenpumpe mit einer relativ konstanten und kontinuierlichen Energiezufuhr arbeitet. Drehkolbenpumpen werden zur Wasserförderung aber nur selten verwendet.

Elektrisch gekoppelte Windpumpen nutzen ein Kabel zur Übertragung von einem windbetriebenen Elektrogenerator zu einem Elektromotor, der die Pumpe antreibt. Die Stromübertragung per Kabel erlaubt es, den Windrotor im Abstand zur Pumpe an einem geeigneten Ort zu platzieren, wie beispielsweise auf einem Hügel, und so mehr Wind zu fassen und mehr Strom zu erzeugen als direkt am Pumport möglich wäre, der häufig in tieferen Lagen liegt. Um die nötige hohe Drehgeschwindigkeit zum Antrieb des Elektrogenerators zu erreichen, wird dieser üblicherweise durch einen zwei- oder dreiflügliger Rotor über ein Übersetzungsgetriebe betrieben. Ein Schleifringkörper verbindet die Pole des Generators mit dem Kabel. Produziert der Generator Dreiphasen-Wechselstrom, kann dieser direkt zum Antrieb einer üblichen Kreiselpumpe mit einem Drehstrominduktionsmotor genutzt wer-

den. Die maximale Leistung des Elektromotors sollte nicht mehr als 40% der Generatorleistung betragen.

Für einen wirtschaftlichen Betrieb der Windpumpe sollten 60% der Zeit durchschnittliche Windgeschwindigkeiten von 2,5 - 3 m/sec herrschen, da eine Geschwindigkeit darunter in den meisten Fällen nicht zum Pumpen ausreicht oder nicht wirtschaftlich ist.

Für den Erfolg der Technologie ist die richtige Kombination von Pumpe, Windrad und den Windeigenschaften vor Ort von entscheidender Wichtigkeit.

Wichtig ist außerdem, dass das Grundwasservorkommen groß genug ist, um einen dauerhaften Betrieb ohne Absinken des Grundwasserspiegels zu erlauben (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003, WindTechnikNord 2013).

Pumphöhe

Die Pumphöhe ist auch vom Pumpentyp abhängig und liegt meist bei 10 - 100m, kann aber auch bis zu 200m betragen (FAO 1986).

Fördermenge

Für eine durchschnittliche windbetriebene Pumpe bei einer Windgeschwindigkeit von 3m/sec beträgt die Fördemenge bei einer Förderhöhe von 10m normalerweise 0,12 Liter/sec pro m² Rotorfläche (Brikké, Bredero 2003).

Lebensdauer

Es kann eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren erwartet werden (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Okuni 2003).

Handelsnamen

Aeromotor, Dempster, Fiasa, Kijito, Southern Cross (Brikké, Bredero 2003) und Poldaw.

2.6.1.3 Aufbau

Eine Windpumpe besteht aus den Komponenten Rotor, Mast, Pumpe, Übersetzungsgetriebe und Vorratstank.

Rotor

Die Windräder reichen in ihrem Durchmesser von 2 bis zu 6m. Windräder rotieren entweder um eine horizontale oder eine vertikale Achse. Die meisten in der Praxis eingesetzten Windräder besitzen eine horizontale Achse, allerdings beschäftigt sich die Forschung auch mit den Möglichkeiten, die um eine vertikale Achse rotierende Windräder bieten.

Wind-Rotoren mit horizontaler Achse bestehen aus zwei und mehr Flügeln. Vielflügelige Rotoren sind so gebaut, dass sie sich relativ langsam drehen; zwischen 30 und 80 Umdrehungen / min. Dabei produzieren sie ein relativ großes Drehmoment, wodurch sie zum Antrieb mechanisch angekoppelter Pumpen geeignet sind. Aufgrund der beträchtlichen Auflast und des Drehmoments ist eine robuste Konstruktion nötig.

Schnell drehende Rotoren mit zwei oder drei Flügeln sind hingegen besser zum Antrieb von Elektrogeneratoren mit hoher Drehzahl für elektrisch betriebene Pumpen geeignet. Wegen der stärkeren auf die Rotoren einwirkenden aerodynamischen Kräfte, der beträchtlichen Fliehkräfte sowie des größeren Risikos von Schwingungen sind hier in erster Linie die Ausrichtung der Flügel sowie deren Profil-Design von entscheidender Wichtigkeit.

Wind-Rotoren mit vertikaler Achse haben den Vorteil, dass sie nicht nach dem Wind ausgerichtet werden müssen, da der Wind aus jeder Richtung auf die gleiche Querschnittsfläche trifft. Es gibt zwei Haupttypen vertikal rotierender Rotoren, die mit „Lift“ und „Drag“ bezeichnet werden. Mit „Drag“ werden Rotoren bezeichnet, die parallel zum Wind stehen, mit „Lift“ solche, auf die die Windkraft

senkrecht auftrifft. Ein bekanntes Beispiel für einen Rotor des „Lift"-Typs ist die sog. Darrieus-Windturbine (siehe Abb. 54C). Dieser Rotor kann eine ebenso große Leistung erzeugen wie Rotoren mit horizontaler Achse, ist jedoch nicht selbstanlaufend. Ein Beispiel eines Rotors des „Drag"-Typs ist der sog. Savonius-Rotor, der S-förmige Flügel besitzt (siehe Abb. 54D). Dieser Rotor hat eine begrenzte Leistungsausbeute und ist schwierig gegen Starkwinde zu schützen. Dies ist generell ein Problem von Rotoren mit vertikaler Achse, da sie nicht aus dem Wind gedreht werden können.

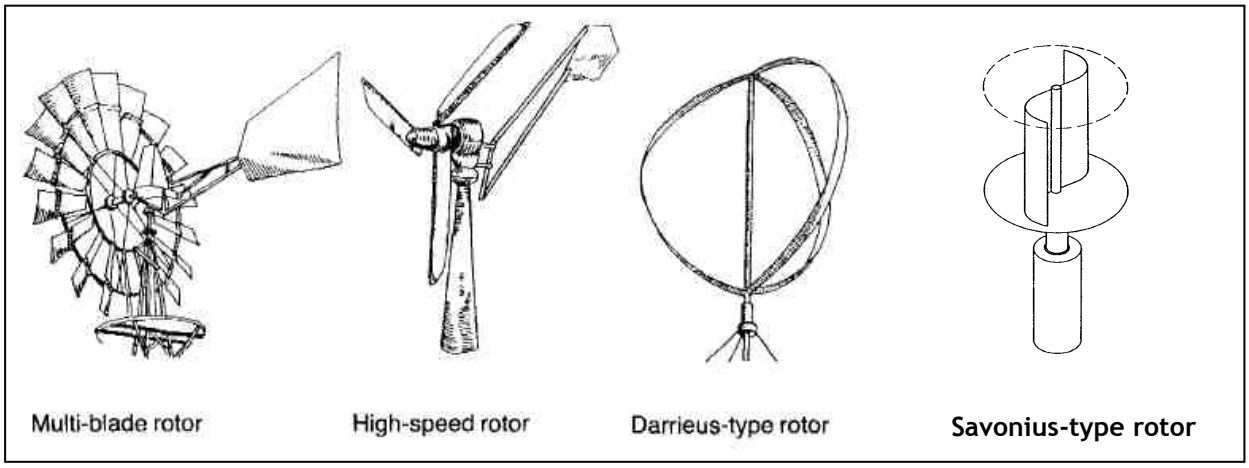


Abb. 54: Übersicht über verschiedene Rotor-Typen

Moderne Windräder mit horizontaler Achse sind so gebaut, dass sie während des Pumpvorgangs automatisch in den Wind drehen. Sie sind außerdem meist mit einer Vorkehrung ausgerüstet, die das Windrad automatisch aus starkem Wind herausnimmt, der das Windrad beschädigen könnte (z.B. 13 - 15m/s), bzw. zusammenklappt; manche sind manuell einstellbar, andere besitzen ein Bremssystem (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003).

Mast

Der Mast muss robust genug sein, um den erheblichen Kräften standzuhalten, die durch den sich drehenden Rotor auf ihn übertragen werden, speziell bei hohen Windstärken. Bei einer Höhe von 4,5 - 15m ist eine stabile Konstruktion nötig. Deshalb ist der Verwendung von lokal angefertigten Masten mit Vorsicht zu begegnen. Ein Versagen des Masts oder ein Ausrichtungsfehler können die ganze Anlage zerstören. Beim Aufbringen eines importierten Rotors auf einen lokal konstruierten Mast erlischt in vielen Fällen auch die Garantie des Herstellers. Allerdings gibt es inzwischen auch Windpumpen, die in mehreren Entwicklungsländern lokal lizenziert produziert werden (wie z.B. Poldaw Windpumps, die ursprünglich in Großbritannien entwickelt wurden) (Brikké, Bredero 2003, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003, Neale Consulting Engineers Ltd. 2008).

Getriebe

Bei einem Windpumpensystem, das über eine Hubkolbenpumpe arbeitet, erfolgt die Kraftübertragung oft über eine Kurbelwelle, die die Kolbenstange auf- und abbewegt, um die Pumpe anzutreiben. Daneben gibt es noch andere Formen von Getrieben, die die Kolbenstange direkt auf- und abbewegen und dabei die Hublänge der Pumpe bestimmen. Bei einigen am Markt erhältlichen Übersetzungssystemen werden auch komplexe Getriebe mit einer Rollen-und-Hülsen-Kupplung verwendet, um die Hub- und Senkbewegung der Kolbenstange zu produzieren. Da Kolbenpumpen eine relativ hohe Startenergie benötigen, werden teilweise Ausrückhebel eingebaut, die eine freie Rotation des Rotors erlauben, bis genug Geschwindigkeit und Energie erreicht sind, um die Pumpe durch Einschalten des Kupplungshebels zu starten.

Beherbergt der Getriebemechanismus eine Vorrichtung, um die Hublänge zu verändern, kann das Drehmoment, das zum Starten der Pumpe gebraucht wird, je nach starkem und schwachem Wind angepasst werden. Diese Vorkehrung funktioniert ähnlich wie bei Fahrrädern verwendete Getriebe, bei denen das Betriebsdrehmoment angepasst werden kann, um die benötigte Beinkraft zu reduzieren. Mit einer variablen Hubeinstellung kann die Windpumpe bereits bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten starten und so eine nicht unerhebliche Steigerung der geförderten Wassermenge erzielen. Ein einfacherer Weg, um das Startdrehmoment zu reduzieren, ist es, ein kleines Loch in den Kolben zu bohren. Dadurch ist der Startwiderstand geringer, und die Pumpe kann bereits bei geringeren Windstärken den Betrieb aufnehmen. Bei stärkerem Wind verursacht das Loch Wasserverluste, jedoch sind diese normalerweise gering und werden durch die zusätzliche Fördermenge bei geringem Wind ohne weiteres kompensiert.

Drehkolbenpumpen können mit dem Rotor über ein Zahnradgetriebe, einen Flaschenzug oder ein Riemengetriebe verbunden sein.

Bei Kreiselpumpen verfügen der Windrotor und die Pumpe beide über ein ähnliches Drehmoment und Drehzahlkennlinie, die beide mit der Rotationsgeschwindigkeit variieren.

Rotoren mit vertikaler Achse können mit der Pumpe über ein einfaches Riemengetriebe verbunden werden. Dabei können Flaschenzüge mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet werden, um die Rotationsgeschwindigkeit der Pumpe abzustimmen, so dass der Pumpenbetrieb an die Windgeschwindigkeitsverhältnisse verschiedener Jahreszeiten angepasst werden kann (Hofkes, Visscher 1986).

Pumpe

Es können sowohl Hub- als auch Drehkolbenpumpen, Membranpumpen sowie Kreiselpumpen mit Windrädern betrieben werden (siehe oben > „Rotor“).

Tank

Da Wind nicht kontinuierlich und gleichmäßig weht, sollten Speichervorrichtungen für drei bis vier Tage errichtet werden. Diese können sowohl aufgeständert als auch ebenirdisch errichtet werden.

2.6.1.4 Anforderungen an Windpumpen zur Wasserförderung

Für den Einsatz in der Praxis sollten Windpumpen folgende Anforderungen erfüllen:

- **Betriebszuverlässigkeit, Robustheit und möglichst wartungsarmer Betrieb**: Windpumpen zur Wasserförderung müssen äußerst zuverlässig arbeiten, und es muss möglich sein, sie über einen längeren Zeitraum (z.B. 6 Monate) unbeaufsichtigt arbeiten zu lassen (so müssen sie z.B. Vorrichtungen besitzen, um eine Überlastung bei Starkwind zu verhindern). Außerdem ist wichtig, dass sie nur sehr geringer Wartung bedürfen. Eine typische Windpumpe sollte ohne größere Erneuerungen über 20 Jahre laufen und dabei nicht viel häufiger als einmal im Jahr gründlich gewartet werden müssen. Dies ist ein hoher technischer Anspruch, zudem eine solche Windpumpe durchschnittlich über 80.000 Betriebsstunden leisten muss, bevor signifikante Bestandteile abnutzen – dies ist das Vier- bis Zehnfache der üblichen Lebensdauer der meisten kleinen Dieselmotoren.
- **Gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, möglichst niedrige Anschaffungskosten, einfache, sichere Installation und Betrieb**: Windpumpen sind aufgrund der robusten Konstruktion im Verhältnis zu ihrer Nutzleistung relativ teuer. Neuere Modelle versuchen jedoch, die Robustheit der bewährten Farm-Windpumpen mit geringerem Gewicht, einfacherer Installation und geringeren Kosten zu verbinden.
- **Windangepasster Betrieb**: die Pumpe sollte bereits bei niedrigen Windstärken wie 3m/sec oder niedriger betrieben werden können und entsprechende Vorrichtungen besitzen, um auch Starkwinde unbeschadet überstehen zu können (50 m/sec, 180 km/h).

- **Ausreichende Pumpleistung**: die Pumpleistung muss ausreichend sein, um die benötigte Fördemenge zu erzielen und einen wirtschaftlichen Betrieb der Pumpe zu ermöglichen.

(FAO 1986, Neale Consulting Engineers Ltd. 2008, Okuni 2003)

2.6.1.5 Vor- und Nachteile

Die Hauptvorteile von Windpumpen im Vergleich zu praktisch allen anderen Pumpensystemen sind ihre hohe Betriebszuverlässigkeit und der geringe Bedarf an menschlicher Bedienung. Windpumpen stellen eine attraktive Antriebsoption vor allem in abgelegenen Gegenden ohne Stromsanschluss dar. Sie sind mit praktisch allen Tiefbrunnen-Pumpensystemen einsetzbar und können Wasser aus Tiefen fördern, aus denen es mit Handpumpen nicht förderbar ist. Sie arbeiten fremdenergieautark und emissionsfrei, können teilweise im Land produziert werden (Import-Steuern fallen weg) und erzielen höhere Fördermengen als muskelkraftbetriebene Pumpen ohne körperliche Belastung der Nutzer. Sie sind robust und weitgehend diebstahlsicher und darüber hinaus relativ wartungsarm.

Nachteilig sind in erster Linie relativ hohe Investitionskosten sowie ein höheres erforderliches Niveau an technischem Können für Betrieb und Reparaturen. Zur Wartung bedarf es einer Schulung der entsprechenden Person, größere Reparaturen können nur durch ausgebildete Fachkräfte vorgenommen werden. Durch Unwissen oder fehlerhaftes Verhalten ist eine Beschädigung der Installation möglich wie z.B. durch unbeabsichtigtes Blockieren des Klapp-Mechanismus, was zu einer Beschädigung bei Starkwind führen kann. Auch kann die Beschaffung von Ersatzteilen schwierig und teuer sein. Aufgrund der großen Fördermengen besteht eher die Gefahr einer Übernutzung des Grundwasservorkommens als bei Handpumpen mit geringeren Fördermengen. Ein weiterer Nachteil ist die Windabhängigkeit für den Pumpebetrieb, allerdings gibt es auch Pumpen, bei denen alternativ ein Betrieb von Hand möglich ist. Durch das Anlegen eines Wasserspeichers lässt sich dieses Problem jedoch auch minimieren (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Neale Consulting Engineers Ltd. 2008, Okuni 2003).

2.6.1.6 Wartungsaktivitäten

Der Betrieb der Windräder läuft meist automatisch. Manche Windräder bedürfen einer manuellen Rückschaltung des „Furling“-Mechanismus nach starkem Wind. Soll die Pumpe einmal nicht pumpen, kann das Windrad per Hand aus dem Wind gedreht werden.

Auch wenn Windpumpen über größere Zeiträume unbeaufsichtigt laufen können, sollten sie doch regelmäßig überprüft und jegliche Abnormalitäten korrigiert werden. Außerdem empfiehlt es sich, den Antriebsmechanismus möglichst zu bedecken und so vor Witterung zu schützen.

In regelmäßigen Abständen sollte die Windpumpe visuell geprüft, ggfls. lockere Bolzen und Muttern nachgezogen und Lager und andere bewegliche Teile geölt oder gefettet werden. Schlechte Wartung und ungenügendes Ölen führen zu einem schnellen Verschleiß von beweglichen Teilen und Lagern, so dass es zu Beschädigungen von Rotor und Pumpenteilen durch den Wind kommen kann. Regelmäßig geölte Lager bedürfen ansonsten keiner Wartung, jährliche Inspektionen sollten ausreichend sein. Anstriche sollten jährlich erneuert und das Öl in der Getriebebox ausgetauscht werden, sofern vorhanden. Eine Komplettüberholung und Inspektion werden nur etwa alle zwei bis drei Jahre benötigt.

Je nach Qualität der Pumpe benötigen Topfmanschetten und andere bewegliche Teile häufigere Wartung bzw. Austausch. Die Wartung einer windbetriebenen Kolbenpumpe ist in etwa vergleichbar mit der einer Handkolbenpumpe bei sehr starker Nutzung.

Normalerweise wird eine Person als für Windrad, Pumpe und Vorratstank Verantwortliche bestimmt. Die Person sollte dafür ausgebildet / geschult sein und evtl. für ihre Tätigkeiten einen kleinen Lohn erhalten.

Gut organisierte präventive Wartung kann die Lebensdauer einer Windpumpe auf über 20 Jahre verlängern, während schlechte Wartung zu ernsthaften Schäden binnen kürzester Zeit führen kann.

Um Probleme mit Qualität, Betrieb und Ersatzteilen zu vermeiden, empfiehlt es sich, einen lokalen Hersteller oder Händler mit Referenzen zu suchen, der Pumpen guter Qualität vertreibt (Brikké, Bredero 2003, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003).

2.6.2 Solarpumpen

Solarbetriebene Pumpsysteme sind besonders für abgelegene Gegenden eine attraktive Option, in denen die Strom- und Kraftstoffversorgung schwierig und teuer ist. Die einzige Voraussetzung ist eine ausreichende Sonneneinstrahlung. Doch auch in besser zugänglichen Gebieten bieten sie aufgrund ihrer Fremdenergieunabhängigkeit und Emissionsfreiheit Vorteile gegenüber anderen Antriebsmöglichkeiten. Bei der Nutzung von Solarenergie zum Betrieb von Pumpensystemen wird Sonneneinstrahlung in nutzbare mechanische Energie zum Pumpen von Wasser umgewandelt. Dies kann auf zwei Arten geschehen, denen grundlegend unterschiedliche Technologien zugrunde liegen:
(1) der Produktion elektrischer Energie durch Photovoltaikzellen, die dann zur Erzeugung mechanischer Energie verwendet wird
(2) der thermodynamischen Umwandlung von Solarwärme in mechanische Energie.
Da die Nutzung von Sonnenenergie mittels Photovoltaikanlagen zum Antrieb von Wasserpumpen in der Praxis wesentlich häufiger eingesetzt wird als mittels Solarthermie, beschäftigt sich das vorliegende Kapitel in erster Linie mit PV-betriebenen Pumpensystemen (FAO 1986, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003).

2.6.2.1 Geschichtlicher Hintergrund

Auch wenn die Solarthermie bei der Nutzung der Solarenergie heute weniger verbreitet ist als die Photovoltaik-Technologie, ist sie das ältere System von beiden und geht auf erste Experimente vor über 100 Jahren zurück, während die Technologie der Solarzellen erst etwa in den 1950er Jahren entwickelt wurde.

Die ersten erfolgreichen Solarthermie-Systeme wurden in Frankreich Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt. um 1900 hatte sich die Forschung hauptsächlich in die USA verlagert, wo versucht wurde, wirtschaftlich realisierbare Solarpumpensyteme zu entwickeln. Zwar entstanden hierbei einige funktionsfähige Modelle, jedoch überstiegen die Kosten die Herstellungskosten für eine Dampfmaschine derselben Leistung um ein Vielfaches, so dass sie sich nicht durchsetzen konnten. Die Versuche führten 1914 schließlich zur Konstruktion eines der größten und technisch erfolgreichsten Solarthermie-Pumpensysteme durch den Amerikaner Frank Shuman, welches in Meadi (Ägypten) für Bewässerungszwecke installiert wurde. Die Pumpe verfügte über einen Heißwasservorratsspeicher, so dass sie 24h am Tag betrieben werden konnte, und erbrachte eine Leistung von 40kW und förderte bis zu 360 L/sec. Unter damaligen ägyptischen Bedingungen erfolgte die Kostenamortisation der Pumpe nach vier Jahren. Das nachfolgende weltweite Interesse sowie Pläne, derartige Pumpen auch in anderen Ländern zu installieren, wurde durch Ausbrechen des Ersten Weltkriegs unterbrochen, vor dessen Ende Shuman, die damalige treibende Kraft im Bereich der Solarpumpen, starb. Die nachfolgende Phase niedriger Ölpreise führte zu einem allgemeinen Interessensverlust an der Nutzung von Solarenergie für Pumpen, bis der Ölpreis in den 1970er Jahren wieder stieg. Weitere Forschung sowie die Produktion verschiedener Solarthermie-Pumpen und deren Betrieb in unterschiedlichen Ländern führten nicht zu einem nachhaltigen Erfolg, während es der neueren Photovoltaik-Technologie gelang, sich zu einer erfolgsversprechenden und zunehmend verbreiteten Technologie zu entwickeln.

Das Prinzip des lichtelektrischen Effekts war bereits 1839 entdeckt worden, der Ursprung der Nutzung von Solarenergie mittels Photovoltaikzellen lag dann in den Bell Laboratories in den USA, in denen Pearson, Fuller und Chapin 1953 eine Solarzelle auf Siliziumbasis entwickelten. Die Anwen-

dungsbereiche lagen zuerst in der Mess- und Regeltechnik, mit Beginn der Raumfahrt wurde die kleine, teure Zelle dann dazu genutzt, Satelliten und Raumschiffe mit Energie zu versorgen. Die ersten für irdische Zwecke erhältlichen Solarzellen in den 1960er Jahren waren dementsprechend teuer und weit entfernt davon, für den Antrieb von Pumpensystemen genutzt zu werden. Die hohen Kosten der Solarzellen gehen dabei in erster Linie auf die zur Herstellung notwendigen technischen Anlagen und Einrichtungen zurück und weniger auf die Kosten der Rohmaterialien. Mit voranschreitender Forschung und zunehmender Produktion und Verbreitung war somit zunehmend eine kostengünstigere Produktion möglich. So sanken die Preise für Solarzellen bereits in den 1980er Jahren beträchtlich (FAO 1986, Wagner 1997).

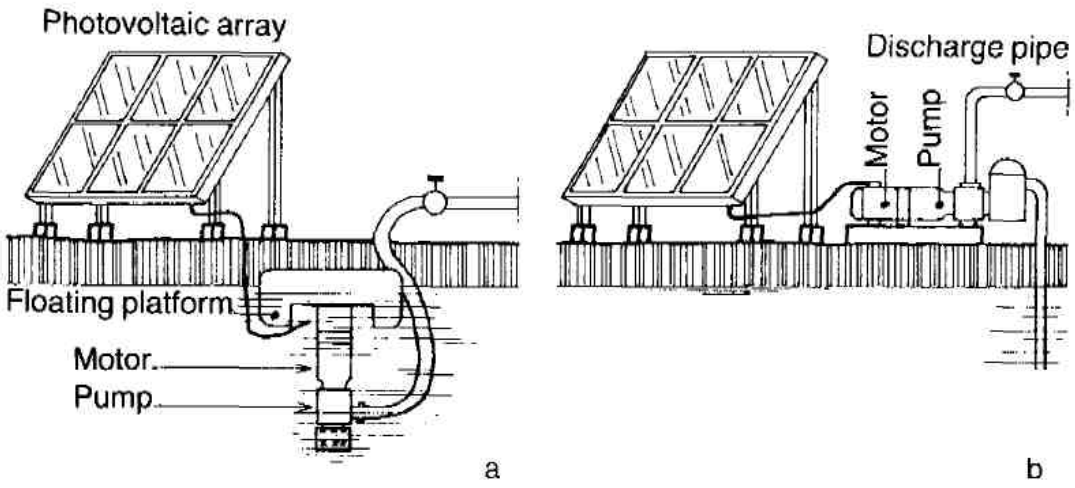
Vor allem im Hinblick auf die angestrebte Energiewende und der damit verbundenen Stärkung und Entwicklung der Nutzung erneuerbarer Energien der letzten Jahre konnte das Produktionsvolumen von Solarzellen weiter erhöht werden, so dass der Einsatz von PV-betriebenen Pumpen zur Wasserversorgung kleiner Gemeinden zunehmend möglich ist.

Noch erfolgt der Einsatz von Solarpumpen dabei in erster Linie zur Trinkwasserversorgung, bei sinkenden Investitionskosten ist zukünftig auch vermehrt ein Einsatz für Bewässerungszwecke denkbar, vor allem da Strahlungsstärke und Wasserbedarf der Pflanzen miteinander einhergehen (FAO 1986).

2.6.2.2 Funktionsweise

Photovoltaik-Pumpensysteme nutzen Solarzellen, die Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umwandeln, die wiederum dazu verwendet wird, einen elektrischen Motor anzutreiben, der die Pumpe antreibt. Sie laufen, sobald eine ausreichende Sonneneinstrahlung vorhanden ist.

Mehrere Solarmodule sind zu Solargeneratoren zusammengefasst und werden im Fall von Gleichstrombetriebenen Pumpen über ein Kabel direkt mit dem Elektromotor verbunden. Im Fall von Wechselstrompumpen muss zusätzlich ein Wechselrichter zwischengeschaltet werden. Dieser bedeutet allerdings einen Energieverlust und somit schlechteren Wirkungsgrad der Pumpe. Photovoltaik-Anlagen können sowohl mit Kolben-, Membran-, Schnecken- als auch Kreiselpumpen verbunden werden. Unterschiedliche Solarpumpensysteme sind technisch erprobt und bei einer Vielzahl von Herstellern erhältlich. Die Abbildungen 55 a - d zeigen verschiedene typische Anordnungen von Pumpensystemen.



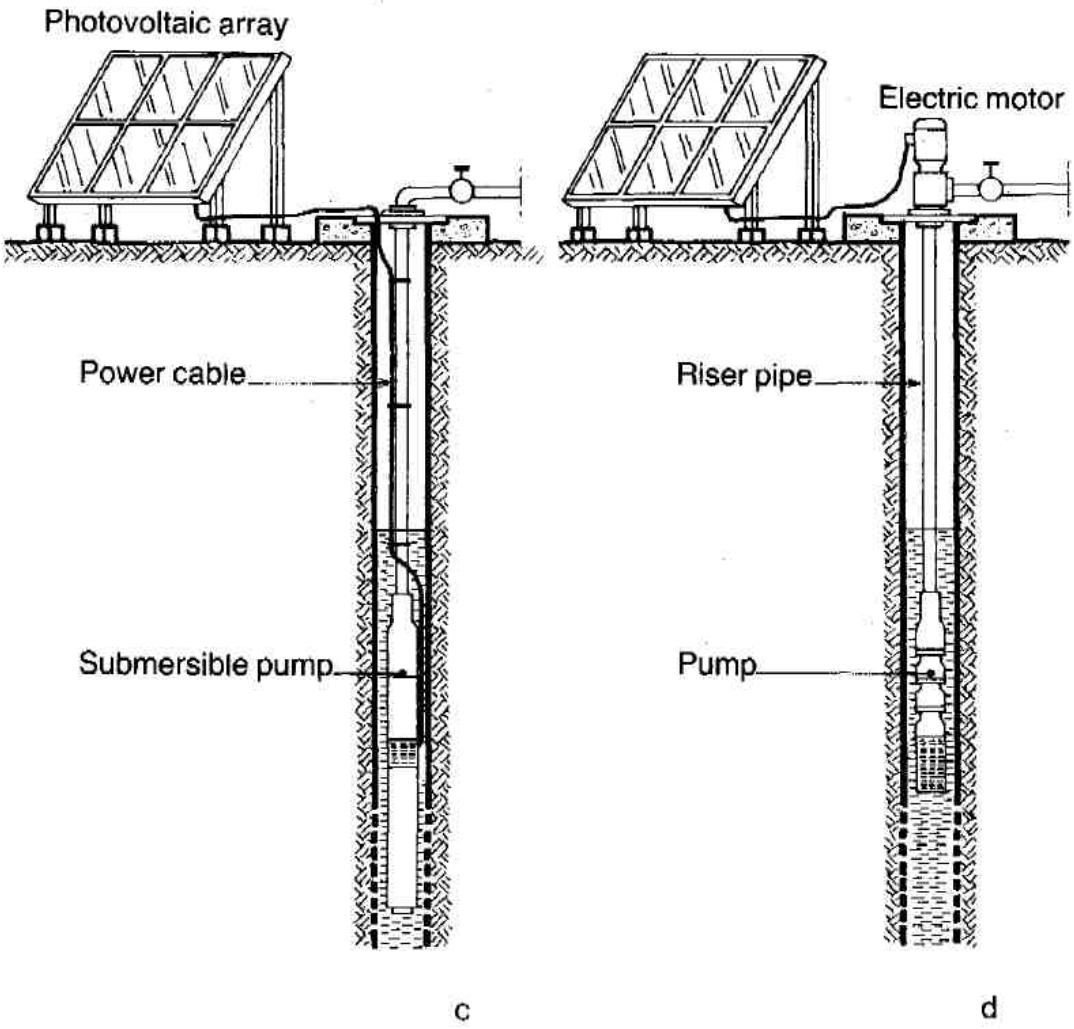


Abb. 55: Verschiedene übliche Anordnungen solarbetriebener Pumpensysteme.
a im Wasser schwimmende Motor-Pumpen-Einheit. b oberflächig angebrachte Vakuumpumpe mit Motor.
c Unterwasserpumpe. d Tauchpumpe mit oberirdisch gelagertem Motor.

Wichtig ist die Übereinstimmung von Solarangebot und Anforderungsprofil der Pumpe. Ein solarbetriebenes Pumpensystem beginnt mit dem Pumpvorgang, wenn die Sonneneinstrahlung einen bestimmten Schwellenwert erreicht. Dieser ist die Strahlungsstärke, die benötigt wird, um die Kraft zu erzeugen, die die Pumpe braucht, um das Anfangsdrehmoment zu überwinden. Die Fördermenge steigt dann mit zunehmender Einstrahlung, und je mehr sich das System aus Motor und Pumpe dem optimalen Betriebspunkt nähert, umso effektiver arbeitet es, so dass die Fördermenge schneller ansteigt als die Sonneneinstrahlung. Wenn sich im Laufe des Nachmittags der Solargenerator erhitzt hat, nimmt die Effizienz des Photovoltaik-Prozesses ab, wodurch die Stromerzeugung ebenfalls abnimmt. Mit Abkühlen der Module am späteren Nachmittag nimmt deren Effizienz wieder zu, wobei jedoch die Einstrahlung abnimmt. Fällt diese unter einen bestimmten Punkt, wird nicht mehr genug Strom erzeugt, so dass die Pumpe den Betrieb einstellt.

Für eine wirtschaftliche Nutzung als Pumpenantrieb sollte die mittlere tägliche Sonneneinstrahlung mindestens 3 kW/m² für jeden Monat des Jahres betragen. (Wichtig: Diese Aussage ist zum jeweiligen Zeitpunkt eines entsprechenden Projektvorhabens zwingend zu überprüfen, da die Angabe den solartechnischen Stand um ca. 2003 wieder gibt. Aktuell (2013) wird auf dem Gebiet der Wirkungs-

gradoptimierung von Solarzellen intensiv geforscht und entwickelt, so dass Zukunftsprojekte mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei Einstrahlung < 3 kW/m² realisiert werden können.) Der produzierte Strom kann entweder direkt für den Pumpbetrieb genutzt oder in Batterien gespeichert werden. Solarmodule müssen vollständig der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein und sollten gegen Beschädigung durch Nutztiere oder Vandalismus gesichert sein. Durch angepasste Designs und Kombinationen der einzelnen Komponenten können Verluste minimiert und die Leistung des Gesamtsystems verbessert werden (Brikké, Bredero 2003, FAO 1986, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003, Wagner 1997).

Energieströme und Verluste

Fördermenge und Förderhöhe bestimmen die erforderliche Leistung des Elektromotors, wofür der Solargenerator die benötigte Energie in Form von elektrischer Spannung und Strom liefern muss. Die Energieströme und begleitenden -verluste zeigt Abb. 56. Einige neuentwickelte Einheiten aus Gleichstrommotoren und Pumpen besitzen eine Strom-zu-Wasser-Effizienz von etwa 70%, während Kreiselpumpen mit Wechselrichter und Wechselstrommotoren Effizienzen von 20 - 40% aufweisen. Dies macht deutlich, wie wichtig die Wahl des Pumpsystems ist, da die Unterschiede in der Effizienz signifikant sein können. Auf die einzelnen Komponenten eines Solarpumpensystems wird im folgenden Kapitel genauer eingegangen (Hofkes, Visscher 1986, UNICEF 2010).

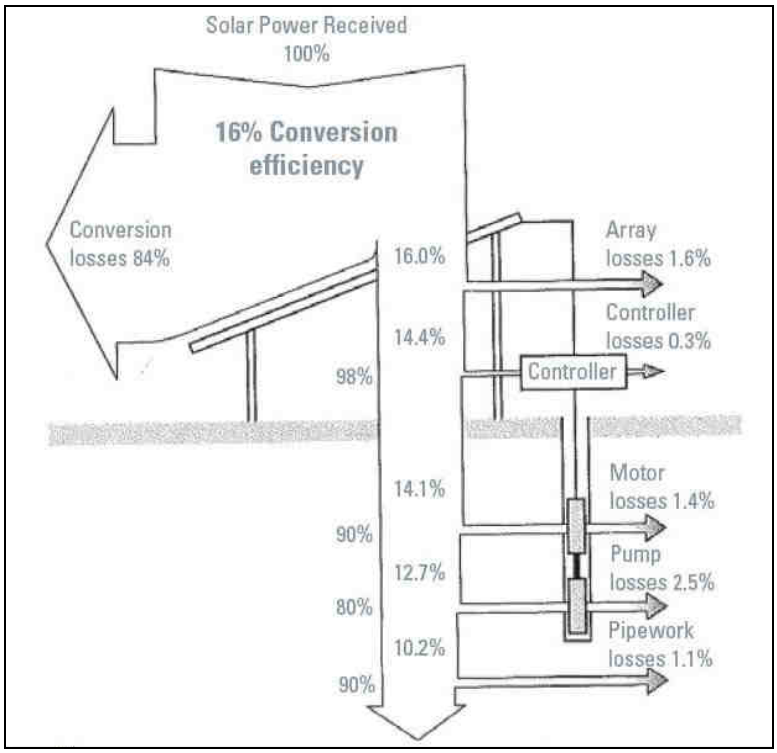


Abb. 56: Mögliche Energieverluste in einem typischen Solarpumpensystem

Fördermenge

Die Fördermenge variiert stark je nach Pumpentyp. Mittlerweile sind hocheffiziente Unterwasserpumpen mit Solarantrieb am Markt erhältlich, die nach Herstellerangaben bis zu 22 L/sec fördern können (Lorentz 2013).

Pumphöhe

Solarbetriebene Pumpen können Wasser über 100 - 200m Höhe fördern, die Wirtschaftlichkeit ist jedoch bei Höhen von bis zu 50m am höchsten (Brikké, Bredero 2003, Okuni 2003).

Lebensdauer

Die erwartete Produktlebensdauer für Module beträgt achtzehn Jahre und mehr (Brikké, Bredero 2003).

Bekannte **Hersteller** bzw. **Handelsnamen** von Komplettlösungen: Grundfos, Mono, Heliodinamica, Fluxinos, Hydrasol, Kyocera, etc. (Stand 2003) (Brikké, Bredero 2003).

2.6.2.3 Aufbau

Solarpumpen bestehen aus fünf grundsätzlichen Komponenten:

- den Solarmodulen
- der Pumpeinheit selbst
- dem Regler, der Geschwindigkeit und Ausgangsleistung an die Eingangsenergie der Solarpanele anpasst
- dem elektrischen Antrieb (normalerweise ein Elektromotor)
- einem Vorratstank

(Hofkes, Visscher 1986, Wikipedia: Solar-powered pump 2013).

Solarmodule

Ein Solarmodul besteht aus Solarzellen. Darin wird Strom erzeugt, wenn Licht auf die aktive Oberfläche fällt. Die Elektronen in der Solarzelle werden von der Strahlungsenergie des Sonnenlichts energetisiert. Überschreitet die Energie einen bestimmten Wert, baut sich eine Potentialdifferenz im halbleitenden Material der Solarzellen auf. Dieses Potential kann verwendet werden, um einen Stromfluss zu erzeugen. Zum Schutz vor Umwelteinflüssen werden die Solarzellen zu Solarmodulen oder -panelen verbunden und mit einer Glasbedeckung, einem Rahmen und einer Rückplatte versehen.

Solarmodule sind langlebig und zuverlässig – manche Hersteller gewähren eine Garantie von bis zu 25 Jahren. Hierbei sollte jedoch bedacht werden, dass diese Garantie nur gewährleistet werden kann, wenn der Hersteller bis dahin noch existiert. Deshalb empfiehlt es sich, beim Kauf der Module namhaften Herstellern den Vorzug vor möglichst billigen Produkten zu geben.

Am Markt gibt es drei Haupttypen von Solarzellen: solche aus amorphem Silizium, monokristallinem Silizium und polykristallinem Silizium. Zwei Typen neuer Zellen, die nicht auf Silizium beruhen (CdTe, CIS) sind seit 2012 ebenfalls erhältlich. Die Stromerzeugung eines Solarmoduls ist abhängig von der herrschenden Sonneneinstrahlung. Die nutzbare Strahlung variiert je nach geographischer Lage, Wolkendecke, Smog und die Anzahl der täglichen Sonnenstunden. In der Praxis variiert die jährliche Sonneneinstrahlung zwischen 250 und 2.500kWh/m² mit Spitzen in Äquatornähe und Wüstengebieten. Zu beachten ist, dass der erzeugte Strom lediglich bei 15% der Einstrahlungsenergie liegt (Stand 2010).

Von Nachteil ist außerdem die Tatsache, dass die Effizienz von Solarzellen mit steigender Temperatur abnimmt. Die meisten Solarzellen erreichen in der Praxis eine Temperatur von 50 - 70°C bei voller Sonneneinstrahlung und erreichen ihre Nennleistung deshalb normalerweise niemals ganz. Als Faustregel gilt hier, dass 20% mehr Einstrahlungsenergie notwendig sind, um unter normalen Arbeitstemperaturen die Nennleistung zu erreichen.

PV-Module sind empfindlich gegen Schattenwurf. Dabei muss zwischen leichtem, von weiter entfernten Zweigen oder Schornsteinen herrührendem Schatten, durch den die Lichtintensität verringert wird, und hartem Schatten, der die Bestrahlung einzelner Zellen komplett verhindert, wie beispielsweise durch Blätter oder Schmutz unmittelbar auf der Moduloberfläche, unterschieden werden. Da die „harte“ Beschattung von nur einer Zelle bereits zu starken Spannungseinbußen des gesamten Moduls führt, ist eine regelmäßige Reinigung der Module wichtig. Die Solarmodule werden meist als gerahmte Solargeneratoren in einem bestimmten Winkel zur Sonne aufgestellt. Wichtig ist dabei, zu

beachten, dass auch in Äquatornähe die Module mit einem Mindestwinkel von 15° aufgestellt werden sollten, um das Ablaufen von Regenwasser zu ermöglichen.

Die Solarmodule sind die teuerste Komponente der Solarpumpen. Sinkende Preise für Solarmodule in den letzten 10 Jahren machen Solarpumpen auch für kleine Gemeinden immer attraktiver. Die Abbildungen 57 und 58 zeigen aktuelle Preise für Solarmodule in Europa und den USA sowie die Preisentwicklung in den letzten Jahren. Regelmäßig aktualisierte statistische Daten hierzu können der Internetseite http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices entnommen werden (UNICEF 2010).

Module Pricing Trends per Watt peak			
United States	$2.29	↘	0%
Europe	€2.17	↘	-5%
Number of Prices <$2.00 or €1.54/Wp	329 (34% of survey)	↗	9%
Lowest Mono-cSi Module Price	$1.1 €0.81	↘ ↓	-8% -11%
Lowest Multi-cSi Module Price	$1.06 €0.78	↘ ↘	-2% -5%
Lowest Thin Film Module Price	$0.84 €0.62	↗ →	4% 0%

Abb. 57: Modulpreise (März 2012)

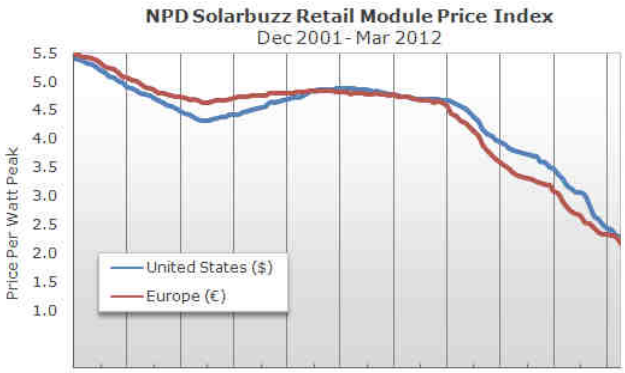


Abb. 58: Preisentwicklung für Solarmodule 2001 - 2012

Pumpe

In Kombination mit Solarmodulen können sowohl Kolben-, Membran-, Schnecken- als auch Kreiselpumpen verwendet werden. Für die Trinkwasserversorgung wurden in den letzten Jahren vor allem Kreiselpumpen eingesetzt, da diese einfach mit Solarmodulen vernetzt werden können, ohne dass eine zusätzliche Regelungs-Einheit benötigt wird. Aufgrund des niedrigen Anfangsdrehmoments können sie außerdem bereits bei geringer Sonneneinstrahlung in Betrieb gehen. Allerdings sind sie speziell für die Trinkwasserversorgung in kleinem Rahmen wenig energieeffizient und wurden häufig überdimensioniert, so dass zunehmend Exzenterschneckenpumpen in der solarbetriebenen Trinkwasserförderung Verwendung finden. Diese haben zwar ein hohes Startdrehmoment, können aber in Bohrlöchern mit sehr kleinem Durchmesser eingesetzt werden und sind für die Versorgung kleiner ländlicher Einheiten insgesamt besser geeignet.

Daneben werden auch Hubkolbenpumpen über Solaranlagen betrieben. Hier wird die kreisende Bewegung des Elektromotors über ein rundlaufendes Band auf einem Schwungrad in eine Heb- und Senkbewegung des Kolbens übersetzt (siehe Abb. 60). Einige Hersteller bieten auch auf diesem Prinzip beruhende Nachrüstungen für bestehende Handpumpen an (Abb. 50) (GWE 2013, Hofkes, Visscher 1986, SBU 2013, UNICEF 2010).

Abb. 59: Umrüstung einer Handkolbenpumpe auf Solarbetrieb

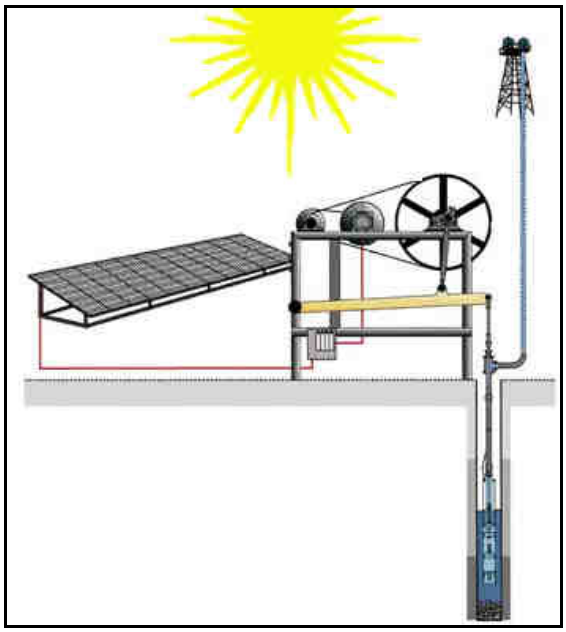


Abb. 60: Schematische Darstellung einer solarbetriebenen Hubkolbenpumpe

Regelungselektronik

Neben Pumpe, Solargenerator, Motor und Wassertank enthalten viele Solarpumpensysteme unterschiedliche Regelungselemente zur Optimierung des Betriebs.
In der Startphase benötigt die Pumpe einen erhöhten Anlaufstrom - insbesondere bei Verdrängerpumpen. Eine Lösung, um diesen Strom aufzubringen, bietet eine Anlaufelektronik. Dabei lädt das Solarmodul zunächst einen Kondensator, und über einen zweiten wird ein Relais angesteuert, das ab einer bestimmten Spannung zur Pumpe durchschaltet. So stehen die Modulleistung und die im Kondensator gespeicherte Energie kurzfristig zum Antrieb zur Verfügung. Somit kann die Pumpe früher starten und länger laufen und so eine höhere Fördermenge erzielen. Zur Reduzierung der benötigten Startenergie können auch Batterien zum Einsatz kommen. Diese sind jedoch auch mit Nachteilen verbunden und daher nicht unbedingt die erste Wahl.
Weiteres Optimierungspotential bietet die Tatsache, dass der Solargenerator und die Pumpe lediglich bei einer bestimmten Einstrahlung beide in ihrem Punkt maximaler Leistung (MPP) arbeiten. In allen anderen Fällen wird das Modul nicht voll genutzt. Eine Optimierung ist mittels eines Anpasswandlers möglich, an dessen Eingang Strom und Spannung im MPP des Moduls liegen. Diese werden mittels Wandler so transformiert, dass die Pumpe ebenfalls in ihrem MPP arbeitet. Die Verluste aufgrund des Wandlers sind i.d.R. gering und die Vorteile vor allem bei niedriger Einstrahlung groß.
Wechselrichter wandeln Gleichstrom in Wechselstrom um, um so Wechselstrompumpen betreiben zu können. Dies kann im Einzelfall von Vorteil sein, ist aber mit nicht unerheblichen Verlusten verbunden. Auch hier gibt es die Möglichkeit, mittels Regelelektronik Spannung und Frequenz des Wechselstroms anzupassen, so dass die Pumpe bereits bei relativ niedriger Einstrahlung starten kann.
Die Verwendung zusätzlicher Elektronik beinhaltet zusätzliche Kosten und Energieverluste sowie eine hinzukommende mögliche Fehlerquelle. Deshalb ist ihr Einsatz wirtschaftlich nur dann sinnvoll, wenn die Vorteile diese Nachteile überwiegen (Brikké, Bredero 2003, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003, Wagner 1997).

Motor

Eine weitere wichtige Komponente des Solarpumpensystems ist die Antriebseinheit, der Elektromotor. Die Drehzahl des Motors nimmt mit erhöhter Sonneneinstrahlung zu, wodurch Fördermenge

oder Förderdruck ansteigen. Es lassen sich zwei Typen von Gleichstrom-Elektromotoren unterscheiden:

(1) Permanentmagnet-Motor mit Kohlebürsten

dieser Motor besteht aus einem festen Permanentmagnet, der einen beweglichen Teil, den Rotor umgibt, der sich wiederum aus einem Anker mit Wicklungen, Kollektor und Welle zusammensetzt. Der Kollektor sorgt für die Umpolung der Ankerwicklungen, die benötigte Energie wird über Kohlenbürsten übertragen. Der Verschleiß der Bürsten stellt einen Schwachpunkt des Motors dar, da diese regelmäßig ausgewechselt werden müssen. Meist liegen die Wechselintervalle bei 2.000 - 4.000 Betriebsstunden, was etwa einem bis zwei Jahren Pumpbetrieb entspricht. Eine Weiterentwicklung stellen spezielle abnutzungsarme Bürsten dar, die eine mögliche Betriebsdauer von bis zu 10.000 Stunden aufweisen.

(2) Elektronisch kommutierter Permanentmagnet-Motor

eine neuere Entwicklung der letzten Jahre ist dieser wartungsfreie Motor ohne Bürsten. Den feststehenden Teil des Motors bilden hier die Erregerwicklungen, während ein Permanentmagnet der Rotor ist. Die Umpolung der Wicklung erfolgt hier elektronisch, so dass keine Bürsten notwendig sind.

Gleichstrom-Elektromotoren sind für solarbetriebene Pumpensysteme generell attraktiv, da dieser Motor direkt an den Gleichstrom erzeugenden Solargenerator angeschlossen werden kann.

Wechselstrom-Motoren werden jedoch als Standard-Massenware produziert und sind somit in wesentlich größerer Zahl und zu niedrigeren Preisen am Markt erhältlich. In Kombination mit einem Wechselrichter können diese Motoren ebenfalls in Solarpumpensystemen eingesetzt werden. Nachteilig ist hier das höhere Startdrehmoment von Wechselstrom-Motoren. Es muss im Einzelfall nach den Kosten des Wechselrichters sowie den durch die Umwandlung entstehenden Energieverlusten entschieden werden, welcher Motortyp eingesetzt werden soll. Einzelne Anbieter bieten auch Komplettlösungen aufeinander abgestimmter Systeme aus Solargenerator, Wechselrichter und einer Pumpen-Motor-Einheit an, die durchaus Vorteile gegenüber anderen Systemen haben können (Hofkes, Visscher 1986, UNICEF 2010, Wagner 1997).

Batterien

Als Energiespeicher oder Vorrichtung zum früheren Starten der Pumpe bei noch relativ niedriger Einstrahlung werden in manchen Pumpensystemen Batterien verwendet. Die Vorteile liegen dabei in der gleichmäßigen Bereitstellung der Energie zum Pumpen sowie der Möglichkeit der Energiespeicherung für Phasen mit geringer oder keiner Sonneneinstrahlung oder mit höherem Energiebedarf als aktuell vom Solargenerator bereitgestellt.

Dem stehen jedoch auch Nachteile gegenüber wie

- hohe Kosten
- Energieverluste beim Auf- und Entladen der Batterie und somit eine Reduktion der Gesamteffizienz des Pumpensystems
- kürzere Lebensdauer als die restlichen Komponenten des Pumpensystems
- regelmäßige Wartung und Nachfüllen mit destilliertem Wasser (außer bei Nutzung spezieller Batterien mit zusätzlich höheren Kosten)

Meist werden daher Pumpensysteme ohne Batterien bevorzugt (vor allem für kleinmaßstäbliche Anwendungen) und auf Speicherung in Form von Wasserspeichern zurückgegriffen, da diese kostengünstiger und betriebssicherer sind (Hofkes, Visscher 1986).

Vorratsbehälter

Um eine kontinuierliche Wasserversorgung auch in Zeiten mit wenig oder keinem Sonnenlicht zu gewährleisten, müssen auch Solarpumpen mit einem Vorratsbehälter versehen sein. Zu einer Wasserverteilung mittels Rohrsystem empfiehlt sich ein aufgeständerter Behälter. Die Kapazität des Wassertanks lässt sich anhand der Einstrahlungsdaten der Region sowie des täglichen Bedarfs / Verbrauchs kalkulieren und sollte für zwei bis drei Tage ausreichen. Im südlichen Afrika haben sich Tanks mit Speichermengen für drei bis fünf Tage bewährt. In Gegenden mit einer Regenzeit kann Regenwassersammlung die reduzierte Fördermenge der Pumpe über diesen Zeitraum ausgleichen (Brikké, Bredero 2003, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003, UNICEF 2010).

2.6.2.4 Vor- und Nachteile

Die Vorteile von Solarpumpen liegen in erster Linie in den hohen möglichen Förderhöhen und -mengen bei Unabhängigkeit von Fremdenergie. Darüber hinaus arbeiten sie emissionsfrei und ohne körperliche Belastung der Nutzer und können in schlecht zugänglichen Regionen ohne Stromversorgung eingesetzt werden. Viele Entwicklungsländer liegen in Regionen mit hoher Sonneneinstrahlung und bieten somit optimale Bedingungen für den Einsatz von Solarenergienutzung. Zwar läuft die Pumpe an Regentagen aufgrund der zu geringen Sonneneinstrahlung (Modulgeneration 2012) meistens nicht, jedoch ist der Wasserbedarf kleiner ländlicher Nutzergruppen dann meist sowieso geringer, da bei Regen die Bewässerung von Hausgärten oder Viehtränkung entfällt, und während ausgeprägter Regenzeiten unterstützend auf Regenwassersammlung zurückgegriffen werden kann. Solarpumpen haben eine lange Lebensdauer, arbeiten zuverlässig und sind relativ wartungsarm, wobei dies auch von der verwendeten Pumpe abhängig ist. Den noch relativ hohen Investitionskosten stehen geringe Unterhaltungskosten gegenüber. Mit technischen Fortschritt, zunehmender Verbreitung und sinkenden Kosten von Solaranlagen steigen die Möglichkeiten der Verwendung von Solarpumpensystemen auch in kleinen ländlichen Gemeinden mit geringen finanziellen Ressourcen.

Nachteilig sind in erster Linie die hohen Primärinvestitionskosten, die zuerst einmal aufgebracht werden müssen. Können diese allerdings über Spenden gesammelt, von einer Organisation übernommen oder anderweitig extern aufgebracht werden, sind die Folgekosten für die Gemeinde bei optimalem Betrieb und Wartung gering. Trotzdem ist das System relativ anfällig gegen Beschädigungen, so dass es auch zu hohen Kosten im Falle einer nötigen Reparatur oder Ersatz von Teilen des Pumpensystems kommen kann. Dies ist allerdings auch vom gewählten Pumpentyp abhängig. Eine weitere Gefahr ist Diebstahl der Solarkomponente, da sich Solarmodule vielfältig einsetzen lassen. Von Nachteil ist außerdem, dass Solarpumpen nur bei Sonne fördern, weshalb ihr Einsatz vorab eine genaue Berechnung der möglichen Fördermenge unter Berücksichtigung der Gegebenheiten vor Ort wie Sonneneinstrahlung, tägliche Sonnenscheindauer, Verteilung der Sonneneinstrahlung im Laufe des Jahres etc. erfordert. Zu bedenken ist dabei auch, dass im Äquatorbereich die Sonne maximal 12 Stunden / Tag scheint, und somit die Hälfte der Zeit keine Förderung möglich ist, was die Gesamteffizienz reduziert. Aufgrund der höheren Fördermenge und automatisierten Förderung ist die Gefahr der Wasserverschwendung und Übernutzung von Grundwasserressourcen größer als bei Handpumpensystemen. Durch die komplexere Technik und Elektronikkomponente können Reparaturen nicht auf Gemeindeebene durchgeführt werden, sondern es wird eine ausgebildete Fachkraft benötigt (Brikké, Bredero 2003, Hofkes, Visscher 1986, Okuni 2003, UNICEF 2010).

2.6.2.5 Wartungsaktivitäten

Solarpumpen, die ohne Batterien betrieben werden, benötigen keine Bedienung durch den Betreiber und sind wartungsarm. Lediglich die Glasplatten der Module müssen regelmäßig gereinigt und das direkte Umfeld der Pumpe sauber gehalten werden. Zusätzlich bedürfen Kabel, die Stützkonstruktion des Solargenerators, Abdeckungen der elektronischen Komponenten sowie Zäune ab und zu kleiner Reparaturen. Der Anstrich witterungsanfälliger Holz- oder Metallteile sollten einmal jährlich erneuert

werden. Der größte Teil des elektronischen Anlagenteils sollte mindestens 10 - 15 Jahre automatisch funktionieren, wobei Batterien, Wechselrichter, Motoren und Pumpen evtl. häufigeren Service benötigen.

Es bedarf lediglich einer einfachen Organisation auf lokaler Ebene, die hauptsächlich daraus besteht, einen Pumpen-Verantwortlichen zu bestimmen und Gebühren einzusammeln. Eine ausreichende Anzahl speziell für die Reparatur von Solarpumpensystemen ausgebildeter Fachkräfte muss jedoch auf regionaler oder nationaler Ebene erreichbar sein (Brikké, Bredero 2003, UNICEF 2010).

2.6.3 Anmerkung

Bei Pumpen mit mechanisiertem Antrieb (elektrisch betriebene Kreiselpumpen, Windpumpen, Solarpumpen) muss aufgrund der größeren Fördermenge und dem teilweise kontinuierlichen Pumpbetrieb besonders darauf geachtet werden, ein sowohl auf den Wasserbedarf der Nutzer als auch die örtlichen Gegebenheiten und vor allem das Wasservorkommen ausgelegtes Pumpensystem zu wählen. Hierfür ist die vorherige Erhebung exakter Daten bzgl. des täglichen Wasserbedarfs und der verfügbaren Fördermenge (Ertrag des Bohrlochs, voraussichtliche Wasserabsenkung) wichtig. Dabei müssen verschiedene Parameter wie der Ruhewasserspiegel unter der Geländeoberkante, die Höhe von Vorratsbehälter oder Wasserauslass über GOK sowie saisonale Schwankungen des Wasserspiegels, wenn möglich, gemessen und berücksichtigt werden. Für die Tiefe des Brunnens oder Bohrlochs muss ein Absinken des Wasserspiegels durch das Pumpen ebenfalls berücksichtigt werden, das aus dem Verhältnis von Wasserentnahme und Grundwasserneubildung resultiert (UNICEF 2010).

2.7 Weitere Produkte mit angepasster Technologie zur Wasserversorgung

Da nicht überall Brunnen gebohrt werden können, da z.B. der Untergrund felsig, der Grundwasserspiegel zu tief oder das Grundwasser salzig ist, muss in manchen Regionen auf alternative Methoden zur Trinkwassergewinnung zurückgegriffen werden. Hierfür eignet sich in erster Linie die Regenwassersammlung. Dabei gibt es viele unterschiedliche Möglichkeiten der Umsetzung. So werden je nach Sammeltechnik und Größe der Auffangbecken einzelne Familien, Gemeinden oder ganze Regionen versorgt.

Ein Beispiel für eine großräumige Regenwassersammlungsanlage stellen die Felsregenfänge (Rock-Catchments) in Ukambani und andernorts in Kenia dar. Das mit Unterstützung der Welthungerhilfe und der NGO „Viva con Agua“ durchgeführte Projekt in Ukambani bestand in der Errichtung von sechs Wassertanks mit je 150m³ Speicherkapazität an den Abhängen kahler Felsplateaus. Bei den teilweise heftigen Regenfällen wird das ablaufende Wasser entlang der gebauten Mauern in die Becken geleitet. Dort versorgen die Behälter in Dürrezeiten bis zu mehrere 10.000 Menschen (Deutsche Welthungerhilfe 2011, Eberle 2013).

Abb. 61: kommunale Regenwassersammelbecken in Kenia

Abb. 62: Felsregenfang und Sammelbecken in Ukambani

Bei der Versorgung einzelner Gemeinden oder Familien wird häufig der Abfluss von Dachflächen von Schul- und Gemeindegebäuden oder privaten Häusern genutzt. Beispielhaft soll hier die Regenwasserzisterne der Aktionsgemeinschaft EMAS (Escuela Movil Aguas y Saneamiento Basico) vorgestellt werden.

Diese empfehlen sich vor allem für Gegenden, in denen es nur zu bestimmten kurzen Zeiten im Jahr regnet. Dabei wird das Hausdach als Auffangfläche genutzt, von der das ablaufende Wasser über eine Regenrinne und durch einen Filter in die meist unterirdischen Ferrozementtanks geleitet wird. Diese werden in Form von bis zu 3m tiefen Schächten in die Erde gegraben, die dann mit Zement ausgekleidet werden und so nach dem Trocknen stabile und wasserundurchlässige Tanks bilden. Diese können bis zu 3.500L und mehr fassen. Sie werden von oben verschlossen und sind lediglich über die Wasserleitung miteinander verbunden. Das Wasser kann dann mittels einer (speziell von EMAS entwickelten) „Direct Action"-Pumpe nach Bedarf im Lauf des Jahres aus den Zisternen entnommen werden. In dem geschlossenen System behält das gefilterte Wasser auch über das Jahr hin seine Trinkwasserqualität. Ähnliche Tanks aus Zement und Eisendraht lassen sich auch für oberirdische Bereiche konstruieren.

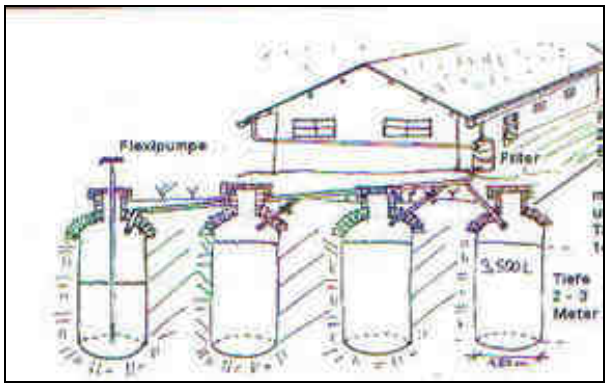


Abb. 63: Prinzip der EMAS-Regenwasserzisternen

Abb. 64: Oberirdischer Teil der Zisterne mit EMAS-Flexi-Pumpe

Eine einfache Methode zur Bereitstellung von warmem Wasser für den Hausgebrauch liefert darüber hinaus der EMAS-Sonnenkollektor. Dieser ist äußerst preiswert, einfach in der Herstellung, korrosionsbeständig und nachtfrostfest. Er besteht aus schwarz angestrichenen Kunststoffrohren in einer mit Silberpapier ausgelegten und mit Folie bespannten Holzkiste. Die Standardform liefert in den Tropen bei normaler Sonneneinstrahlung im Schnitt ca. 60L Warmwasser pro Tag und m² bei einer Erwärmung von 10 auf 60° C.

Ein weiteres Beispiel für die Regenwassergewinnung und -speicherung findet sich auch in Kapitel 3.2.

Vergleich verschiedener Pumpensysteme zur Beurteilung der Nachhaltigkeit

Pumpentyp	Arch. Schraube	Exzenterschnecken-pumpe	Hydraul. Widder	Seilpumpe	Vakuumkolben-pumpe	Pedalkolben-pumpe	"High Lift"-Kolbenpumpe	"Direct Action"-Pumpe	Membranpumpe (Hydro-Pumpe)	Kreiselpumpe	Unterwasserpumpe	Windpumpe	Solarpumpe
Fördermenge	■■■	■■	■	■	■■	■■	■	■■	■	■■■	■■■	■■■	■■■
Lebensdauer	■■■	■■	■■	■	■■■	■■	■	■■	■	■■	■■	■■■	■■■
Investitions-Kosten	■■■	■▮	■	■■■	■■▮	■■▮	■▮	■■▮	■▮	■▮	■▮	■	■
Betriebs-Kosten	□□□	□□	□□□	□□□	□□□	□□□	□□□	□□□	□□	□□	□□	□□□	□□□
Fremdenergie-Abhängigkeit	□□□	□	□□□	□□□	□□□	□□□	□□□	□□□	□□□	□	□	□□	□□
Diebstahl-sicherheit	□□	□□	□□□	□□	□□	□□	□□	□□	□□	□□	□□	□□□	□
Fehlertoleranz	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■	■■	■	■■
Bedien-freundlichkeit	■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■	■■	■■ **	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■
Installation	■■■	■	■■	■■	■■■	■■■	■	■■■	■■	■	■	■	■
Robustheit	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■	■■■	■■
Ersatzteil-zugänglichkeit	■■■	■▮	■■■	■■■	■■▮	■■▮	■▮	■■▮	■	■▮	■▮	■	■
Wartungs-Anspruch	niedrig, auf Gemeindeebene	mittel, nur teilweise auf Gemeindeebene möglich	niedrig, auf Gemeindeebene	niedrig, auf Gemeindebene	niedrig, auf Gemeindeebene	niedrig, auf Gemeindebene	mittel, je nach Marke nicht auf Gemeindeebene möglich	niedrig, auf Gemeindeebene	mittel, nur teilweise auf Gemeindeebene möglich	hoch, nur teilweise auf Gemeindeebene möglich	hoch, nur teilweise auf Gemeindeebene möglich	niedrig, auf Gemein-debene, aber auch abhängig von Pumpensystem	niedrig, auf Gemein-debene, aber auch abhängig von Pumpensystem
Verschleiß	verschleißteilarm	verschleißteilarm	verschleißteilarm	verschleißteilarm	Verschleiß von Kolbenstange, Ventilen und Dichtungen möglich	Verschleiß von Kolbenstange, Ventilen und Dichtungen möglich	Verschleiß von Kolbenstange, Ventilen und Dichtungen möglich	Verschleiß von Kolben-stange, Ventilen und Dichtungen möglich	regelmäßiger Austausch der Membran nötig	verschleißteilarm	verschleißteilarm	Windkraftanlage verschleißteilarm, abhängig vom Pumpensystem	Solaranlage verschleißteilarm, abhängig vom Pumpensystem
Reparatur-freundlichkeit	hoch	ausgebildete Fachkraft erforderlich	hoch	hoch, auf Gemeindeebene möglich	mittel, für größere Reparaturen ausgebilde-te Fachkraft nötig	mittel, für größere Reparaturen ausgebilde-te Fachkraft nötig	mittel bis gering, Unterschiede nach Marke	mittel, für größere Reparaturen ausgebil-dete Fachkraft nötig	zum Austausch der Membran geschulte Kraft nötig	ausgebildete Fachkraft erforderlich	ausgebildete Fachkraft erforderlich	ausgebildete Fachkraft erforderlich	ausgebildete Fachkraft erforderlich
max. Pumphöhe*	6m	> 200m	300m	50m	7m	7m	Handpumpe 15 - 45m motorisiert 180m	12 - 15m	10 - 130m	7m	> 200m	200m	200m
möglicher Betrieb mit reg. Energie	Windkraft, Wasserkraft	Windkraft, Solarenergie	-	Windkraft	Windkraft, Solarenergie	nein	Windkraft, Solarenergie	eher nicht üblich	Windkraft, Solarenergie	Windkraft, Solarenergie	Windkraft, Solarenergie	-	-
Entwicklungs-Prognose	voraussichtl. geringe Weiterentwicklungen	Weiterentwicklungen wahrscheinlich	voraussichtl. geringe Weiterentwicklungen	evtl. Weiterentwick-lung bzgl. Kontami-nationsfreiheit	Weiterentwicklungen möglich	Weiterentwicklungen möglich	in Weiterentwicklung bzgl. Reparatur- und Wartungsfreundlichkeit	Weiterentwicklungen möglich	in Weiterentwicklung	Weiterentwicklun-gen möglich	ausgereiftes System, wahrsch. wenig Weiterentwicklung	Weiterentwicklun-gen möglich	in Weiterentwick-lung bzgl Effizienzsteigerung
Gutes System-Beispiel	-	"Helical Rotor Solar Pump Systems" von Lorentz	"HydRam" von BORDA initiiert	"Nicaragua Rope Pump"	"No. 6" Handpump, von UNICEF entwickelt	"swiss PEP", Hersteller W-3-W	"Afridev" (gemeinfrei), Vetrieb z.B. S.K. Industries	"Tara", von UNICEF entwickelt, Vertrieb z.B. S.K Industries	geschütztes Produkt, einziger Hersteller Vergnet Hydro	-	viele untersch. Ausführungen am Markt	-	"Helical Rotor Solar Pump Systems" von Lorentz
link	-	http://www.lorentz.de/en/products/submersible-solar-pumps/ps-hr.html	http://www.borda-net.org/basic-needs-services/decentralized-water-supply.html#c653	http://artplatform.unicef.org/wash/UNICEF_WASH_Technology_web.pdf	-	http://www.w-3-w.ch/swiss-pep.html	http://www.skipumps.com/afridev.htm	http://www.skipumps.com/tara.htm	http://www.vergnet-hydro.com/	-	Vertrieb z.B. http://www.waterafrica.net/Submersible_Pump.html#	-	http://www.lorentz.de/en/products/submersible-solar-pumps/ps-hr.html
Projekt-Beispiel	-	Ingenieure ohne Grenzen e.V. Projekt "Solarwasserpumpen in Tanzania / Afrika"	atmosfair-BORDA-Projekt "Bewässerung mit hydraulischen Widdern, China"	WaterAid-Projekte in Burkina Faso	NEWAH + WaterAid-Projekte im Tiefland von Nepal	Leben braucht Wasser e.V. Projekt "200 Pumpen für Mocupe"	"Wasserversorgung im Sudan", verschiedene Organisationen	-	700 Handpumpen in Benin	-	-	BGR-Projekt "Trinkwasserver-sorgung Chaco, Paraguay"	Ingenieure ohne Grenzen e.V. Projekt "Solarwasserpumpen in Tanzania / Afrika"
link	-	http://www.ingenieure-ohne-grenzen.org/de/Regionalgruppen/Regensburg/Projekte/Solarwasserpumpen-und-autarkes-Licht-in-Tanzania-Afrika	https://www.atmosfair.de/index.php?id=322	http://www.wateraidamerica.org/includes/documents/cm_docs/2010/w/wa_burkina_faso_country_finaloct2010.pdf	http://www.newah.org.np/index.php	http://www.betterplace.org/de/projects/8566-200-pumpen-fur-mocupe	http://www.bsf-south-sudan.org/sites/default/files/SS+Tech+Guide--Hand+Pump+Equipped+Boreholes.pdf	-	http://www.vergnet-hydro.com/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=158&lang=en	-	-	http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ_Paraguay/gwres_west_fb_02.html?nn=1546496	http://www.ingenieure-ohne-grenzen.org/de/Regionalgruppen/Regensburg/Projekte/Solarwasserpumpen-und-autarkes-Licht-in-Tanzania-Afrika

■▮ 0,15 - 0,6 L/sec
■■▮ 0,6 - 2 L/sec
■■■ > 2 L/sec
■ 6 - 12 Jahre
■■ 12 - 18 Jahre
■■■ > 18 Jahre

■▮ 1 hoch 1,5 mittel bis hoch 2 mittel
■■▮ 2,5 niedrig bis mittel 3 niedrig

□ hoch
□□ mittel bis hoch
□□□ niedrig

□ ja, Elektromotor
□□ ja, Sonne bzw. Wind
□□□ nein, Muskelkraft

□ niedrig
□□ mittel
□□□ hoch

□ gering
□□ mittel
□□□ hoch

□ niedrig
□□ mittel
□□□ hoch

■ geschulte Installateure notwendig
■■ mittel
■■■ einfach

■ gering
■■ mittel
■■■ hoch

■▮ einfach, einfach bis mittel, mittel, mittel bis schwierig, schwierig

* Höhe von Wasserstand zu GOK

** für Kinder weniger geeignet

3 Projekte zur Wasserförderung in der Entwicklungshilfe

Das nachfolgende Kapitel befasst sich mit Entwicklungshilfeprojekten zur Wasserförderung und deren Nachhaltigkeit und geht dabei auf ausgewählte Einzelprojekte näher ein.

3.1 Allgemeine Informationen zu Entwicklungshilfeprojekten im Wassersektor

Entwicklungshilfeprojekte im Wassersektor umfassen ein breites Spektrum unterschiedlicher Projekte und Ansätze. Dabei kann grob unterschieden werden zwischen:

- Kleinst- und Kleinprojekten der nicht-staatlichen technischen Entwicklungszusammenarbeit, die sich lediglich auf einzelne Kommunen oder Wasserstellen beziehen und meist von einer NGO (Non-Governmental Organisation) vor Ort durchgeführt werden. Der Beitrag der Geberseite liegt hierbei meist bei Technologie und Materialien, Planung und Installation sowie entsprechenden Schulungen von Gemeindemitgliedern.

- größeren Projekten oder regionalen Programmen der technischen Zusammenarbeit auf staatlicher oder nicht-staatlicher Ebene, die sich auf mehrere Gemeinden, ganze Landstriche oder z.B. eine größere Stadt beziehen. Diese werden meist in Kooperation mehrerer staatlicher, nicht-staatlicher oder internationaler Organisationen durchgeführt und beziehen heute zumeist großräumigere Voruntersuchungen oder regionenübergreifende Planungen und Strategien mit ein.

- Projekten der staatlichen Entwicklungszusammenarbeit auf Programmebene, die auf übergeordneten administrativen Ebenen ansetzen, um Verbesserungen im Wassersektor hinsichtlich Strukturaufbau, Management, strategischer Planung, institutioneller und rechtlicher Rahmenbedingungen etc. zu schaffen.

Neben den zahlreichen unterschiedlichen Beteiligten an der Planung, Durchführung und Nutzung der Projekte, unterlag die Entwicklungshilfe bzw. -zusammenarbeit im Laufe der Jahrzehnte immer wieder unterschiedlichen Trends und Ansätzen. Grundlegendes Ziel im Wassersektor war und ist die nachhaltige, dauerhafte Nutzbarkeit der installierten Wasserversorgungseinrichtungen und die daraus resultierende anhaltende Verbesserung der Lebensbedingungen der lokalen Bevölkerung. Dieses Ziel wurde in der Vergangenheit leider häufig nicht erreicht, weshalb Untersuchungen und neue Erkenntnisse immer wieder zu neuen Ansätzen führten.

Gemeindebasiertes Projektmanagement

Nachdem erste Projekte zur Wasserversorgung meist beschaffungsorientiert waren, und Wasserförderungssysteme ungeachtet der Nachfrage, weitgehend ohne Einbeziehung der Gemeinde und ohne Nachbetreuung durch externe Organisationen implementiert wurden und auf langfristige Sicht oft scheiterten, ging mit Beginn der 1980er Jahre der Trend zunehmend zum gemeindebasierten Projektmanagement (engl. „Community-based management“). Dieser Ansatz, nach dem die lokale Bevölkerung bei der Konstruktion des Pumpensystems beteiligt wird, für Betrieb und Wartung weitgehend selbst verantwortlich ist und auch bei grundsätzlichen Entscheidungen bzgl. Pumpentyp und Finanzierungweise als Partner einbezogen wird, fand bis zur Jahrtausendwende zunehmend Akzeptanz, und wird bis heute weit verbreitet angewandt. Die Rolle der Geber-Organisation besteht hierbei in erster Linie in der Motivation, Information, Förderung und Unterstützung kommunal geleiteter Projekte. Studien belegen, dass sich die Einbeziehung der Gemeinde in alle Schritte auf die langfristige Nutzbarkeit der Wasserstelle positiv auswirkt. Dies ist besonders dann der Fall, wenn im Partizipationsverfahren Frauen und Männer sowie arme Bevölkerungsteile gleichermaßen beteiligt werden, den Gemeinden mehr Besitzrechte übertragen werden, und die Einnahme von Wassergebühren öffentlicher Kontrolle unterliegt (WaterAid 2011, Wijk-Sijbesma (2) 2003).

Nachfrageorientierter Ansatz

Da jedoch viele Projekte weiterhin nicht nachhaltig funktionsfähig waren, kamen gegen Ende des Jahrtausends außerdem Ansätze zu einer zunehmenden Nachfrageorientierung hinzu. Im Englischen

unter dem Begriff „Demand Responsive Approach (DRA)“ bekannt, geht es in erster Linie darum, dass die Initiative für ein Wasserprojekt von Seiten der Gemeinde kommt, und so davon ausgegangen werden kann, dass bei einem Großteil der Gemeinde ein echtes und auch selbst wahrgenommenes Bedürfnis nach einer verbesserten Wasserversorgung besteht. Denn in der Vergangenheit wurde der Bedarf meist nach Einschätzung von Regierungsinstitutionen oder Gebern bestimmt, ohne die Gemeinden mit einzubeziehen. Eine schwache Nachfrage z.B. aufgrund anderer, vordringlicherer Probleme in der Gemeinde kann die Nachhaltigkeit eines Wasserversorgungssystems jedoch völlig untergraben. Dabei muss im Auge behalten werden, dass die Gemeinden jeweils bereits vorher über irgendeine Art der Wasserversorgung verfügen, auch wenn diese mit langen Wegen verbunden oder völlig ungesichert und gesundheitlich bedenklich ist, so dass dies von den Nutzern evtl. nicht als vordringliches Bedürfnis wahrgenommen wird. Für eine nachhaltige Unterhaltung der Wasserstelle durch die Gemeinde ist dies aber eine unabdingbare Voraussetzung. Der nachfrageorientierte Ansatz wurde daher zunehmend zu einem wichtigen Grundstein staatlicher und nicht-staatlicher Programme zur Wasserförderung.

Denn es zeigte sich immer wieder, dass Wasserprojekte, die nach dem beschaffungsorientierten Ansatz durchgeführt wurden, nicht zu nachhaltigen Ergebnissen führten, da sich die Nutzer nicht als Eigentümer der Pumpe und somit nicht verantwortlich fühlten, und auch der Pumpentyp zumeist von außen bestimmt worden war, ohne die Kapazitäten der jeweiligen Gemeinde zu deren langfristiger Unterhaltung zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurde der Ort der Wasserstelle meist von führenden Einzelpersonen bestimmt, wobei Interessen vieler anderer Nutzer unberücksichtigt blieben und die neue Wasserstelle somit nicht für alle attraktiv war. Die Ausbildung von Wasserkomitees wurde ebenfalls von außen bestimmt, wodurch sie häufig zu klein und zu wenig ausgebildet waren, und einen zu geringen Einfluss besaßen, um z.B. die Zahlung von Wassergebühren durchsetzen zu können.

Nach dem nachfrageorientierten Ansatz hingegen kommt der Gemeinde die Führungsrolle bei der Organisation der örtlichen Wasserversorgung zu. Die Gemeinden müssen hierfür Bedarf anmelden, die Führung im Projekt übernehmen, den Pumpentyp selbst wählen und erwägen, wie sie diesen dauerhaft unterhalten wollen. Außerdem müssen sie in Form von Geld, Arbeitsleistung oder anderen Materialien selbst einen Beitrag zu dem Projekt leisten und die Verantwortung für die langfristige Unterhaltung übernehmen. So kann ein größeres Verantwortungsgefühl und eine stärkere Wertschätzung des Pumpensystems erzielt werden. Um diesen Ansatz auch real umsetzen zu können, müssen für die Gemeinden jedoch auch Möglichkeiten geschaffen werden, ihren Bedarf deutlich zu machen. Hierfür sind auch Maßnahmen auf übergeordneten, staatlichen Ebenen nötig, so dass die Gemeinden zum einen entsprechende Informationen erhalten (z.B. über Radiosendungen, Theaterstücke, die Einbeziehung traditioneller Führer oder die Besichtigung von Gemeinden mit bereits etablierter Wasserversorgung), und zum anderen die Möglichkeit, ihr Interesse bei staatlichen Stellen oder entsprechenden Agenturen anzumelden (Breslin 2003, WaterAid 2011, Wijk-Sijbesma (2) 2003).

Gemeindebasiertes Projektmanagement mit externer Unterstützung

Mehrere Studien, wie sie z.B. von der internationalen NGO WaterAid durchgeführt wurden, zeigen jedoch, dass Wasserprojekte noch immer vielerorts langfristig scheitern. So ergaben Untersuchungen beispielsweise in Nepal, Mozambique und Tansania, dass teilweise noch immer bis zu 46% der Wasserstellen bereits wenige Jahre nach Implementierung nicht mehr in Nutzung sind. Das Hauptproblem liegt hierbei bei Schäden der Pumpensysteme, die aus verschiedenen Gründen nicht repariert werden können. So kehren die Nutzer nicht selten wieder zu alten, offenen und ungesicherten Wasserstellen zurück, oder demontieren die Pumpe ganz, um an das Wasser im Bohrloch zu gelangen. Die Probleme liegen neben der Unkenntnis der Technologie und deren Reparaturmöglichkeiten vor allem in der mangelnden Erhältlichkeit von Ersatzteilen sowie den zu geringen oder nicht vorhandenen finanziellen Ressourcen für eine Reparatur.

Vor diesem Hintergrund verzeichnet sich in den letzten Jahren teilweise wieder eher eine Abkehr vom Ansatz des vollständig auf der Gemeinde basierenden Projektmanagements hin zu einem gemeindebasierten Management mit langfristiger externer Unterstützung in bestimmten Bereichen. Denn es wird zunehmend erkannt, dass das gemeindebasierte Management ohne externe Unterstützung in den meisten Fällen keine funktionierende Basis für Nachhaltigkeit darstellt. Zwar gibt es auch Gemeinden, in denen dieser Ansatz funktioniert, vielerorts ist er aber nicht ausreichend. So gibt es Probleme bei der Unterhaltung von Pumpensystemen, die von den Gemeinden nicht vollständig alleine getragen werden können wie z.B. die Finanzierung und Organisation größerer Reparaturen, den Bezug von Ersatzteilen, die generelle Unzulänglichkeit finanzieller Rücklagen zur vollständigen Deckung von Betrieb, Wartung, Reparatur und Infrastrukturkosten, Bedarfsanstiege durch Bevölkerungszuwachs, bereits fehlerhafter Einbau des Pumpensystems, Schäden durch Naturereignisse sowie innergemeindliche Konflikte rund um das Wassermanagement. Auch sollte im Kopf behalten werden, dass selbst in den meisten Industrieländern die Gemeinden nicht vollständig auf sich gestellt für ihre Wasserversorgung zuständig sind. In Uganda z.B. erwies sich ein gemeindebasiertes Konzept mit leichtem externen Support bereits seit über zwei Jahrzehnten als erfolgreich (Breslin 2003, NEWAH 2006, Taylor 2009, WaterAid 2011).

Konzept

Ein Ansatz hierzu, der von der Organisation WaterAid in Rahmen ihres „Sustainability Framework 2011“ vorgestellt wird, ist in Abb. 65 dargestellt.

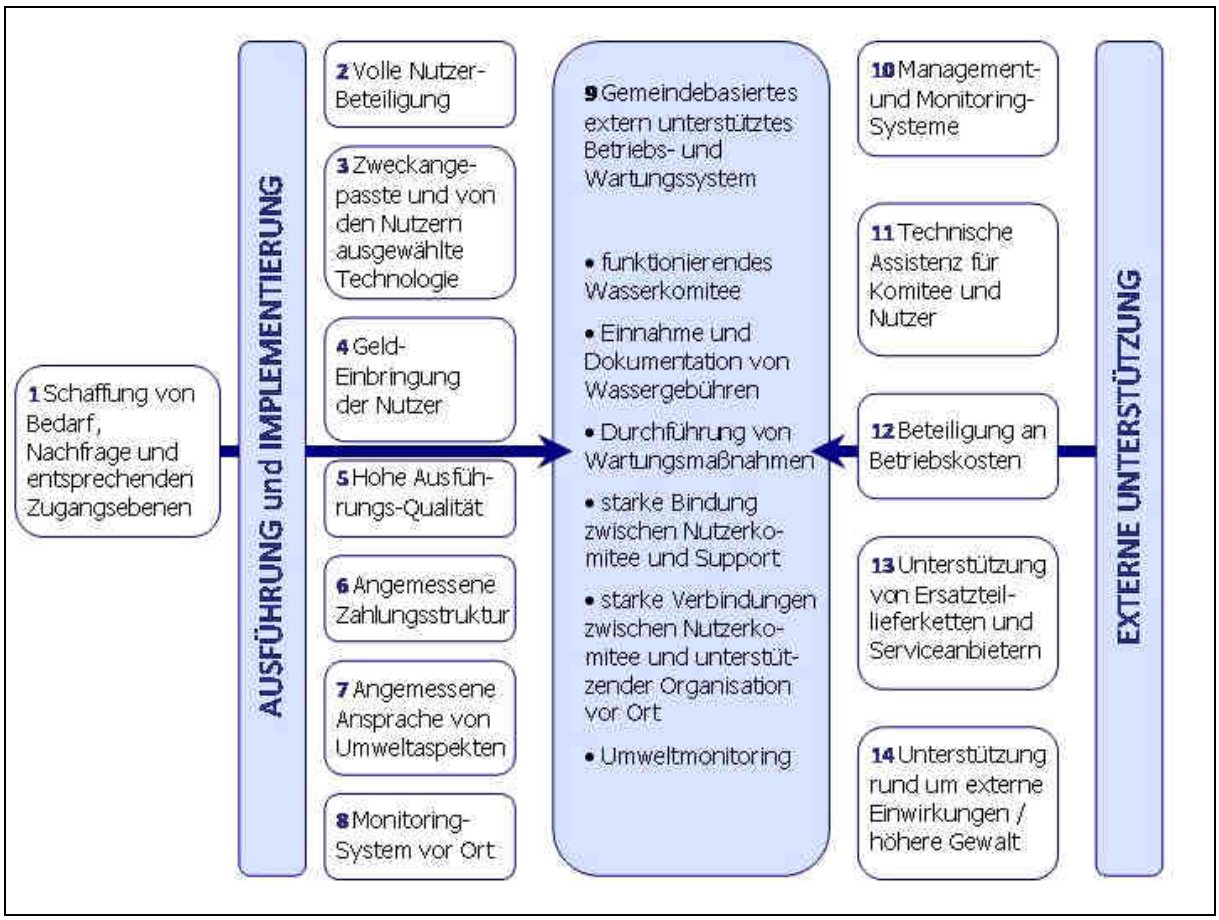


Abb. 65: Konzeptuelle Grundstruktur eines effektiven, extern unterstützten gemeindebasierten Managements ländlicher Wasserversorgungssysteme

Neben dem **Bedarf** bzw. der Nachfrage **(1)** von Seiten der Gemeinde nach einer besseren Wasserversorgung sind die **Beteiligung der Nutzer (2)** sowie die Wahl des den jeweiligen Gegebenheiten am besten entsprechenden **Pumpensystems (3)** mit die wichtigsten Voraussetzungen für eine nachhaltige Wasserversorgung. Die **finanzielle Beteiligung der Nutzer (4)** ist dahingegen in der Praxis umstritten. Meist wird sie in Form von Arbeitskraft und Materialien eingefordert, und das Pumpensystem ohne Gegenzahlung abgegeben. Teilweise wird aber auch eine finanzielle Beteiligung der Gemeinde von bis zu 5% der Kosten erhoben, die dann jedoch meist für Reparaturen etc. angelegt wird und so schließlich zur Gemeinde zurückfließt. Daneben ist die Sicherstellung von entsprechenden **Qualitätsmaßstäben beim Einbau der Pumpe** wichtig **(5)**, d.h. bei größeren Projekten eine Überwachung von ausführenden Partnern und Subunternehmern. Auch die Qualität der an die Nutzer weitergegebenen „Ausbildung" und Informationen sollte sichergestellt werden. Generell ist hier eine Professionalisierung des Sektors von großer Wichtigkeit. Transparente Beschaffungsverfahren, kompetentes Management und Überwachung der ausführenden Firmen sowie eine rigorose Durchsetzung von Standards können dabei hilfreich sein (Breslin 2003, WaterAid 2011).

Ein weiterer wichtiger und nicht unstrittiger Punkt ist die **Erhebung von Wassergebühren (6)**, die die Nutzer für die Wasserentnahme zahlen, um damit Rücklagen für Reparaturen etc. zu bilden. Dies wird in unterschiedlichen Projekten unterschiedlich gehandhabt. Teilweise wird ein genereller Betrag pro Zeiteinheit erhoben, teilweise wird direkt bei jeder Wasserentnahme (z.B. pro Eimer) gezahlt, häufig wird jedoch auch keine Gebühr entrichtet. Da jedoch Wartungs- und Reparaturmaßnahmen immer irgendwann einmal anfallen, verursachen alle Pumpen Kosten, die gedeckt werden müssen. Hier liegt ein entscheidender Knackpunkt bzgl. der Nachhaltigkeit, da viele Pumpensysteme aufgrund fehlender oder ungenügender Rücklagen im Schadensfall nicht repariert werden und somit nicht mehr genutzt werden können. Die Einnahme von Wassergebühren kann dabei z.B. an folgenden Punkten scheitern: zu geringer Nachfrage, fehlendem Bewusstsein bzw. Erkennen der Notwendigkeit durch die Nutzer (z.B. durch generelle Unkenntnis oder bei wartungs- und reparaturfreiem Betrieb der Pumpe über einen langen Zeitraum, so dass der Bedarf nicht deutlich wird), zu hohen Gebühren, fehlender Transparenz, Kontrolle oder Vertrauenswürdigkeit der die Gebühren einsammelnden und verwaltenden Institution / Person (z.B. Wasser-Komitee, Pumpen-Beauftragter). Hier ist es wichtig, bei den Nutzern von vorne herein ein Bewusstsein bzgl. der tatsächlichen Kosten eines Pumpensystems zu schaffen. Darüber hinaus muss anhand weiterer Studien ein Rahmen für geeignete Höhen der Gebühren ermittelt und Regelungen zur Berücksichtigung zahlungsunfähiger Gemeindemitglieder (z.B. Alte, Witwen, Behinderte oder anderweitig Benachteiligte) geschaffen werden. Weiter bedarf es gesetzlicher Rahmenbedingungen für die Gebührenerhebung und deren öffentlicher Kontrolle, für welche die o.g. Zusammenarbeit auf Ebene staatlicher Institutionen nötig ist. Übernimmt ein externer Anbieter die Wasserversorgung und die damit zusammenhängenden Aufgaben, so dass die Gemeindemitglieder lediglich zahlende Nutzer sind, wie es z.T. in größeren Gemeinden der Fall ist, muss sichergestellt werden, dass der Service-Betreiber über die nötige Kompetenz verfügt, sowie sein Finanzmanagement geeignet ist, um Betriebs- und Reparaturkosten zu decken. Darüber hinaus ist eine Rechenschaftspflicht gegenüber den Kunden sowie eine Form der Regulierungsfunktion zur Überprüfung der Leistung nötig (Breslin 2003, NEWAH 2006, Taylor 2009, WaterAid 2011, Wijk-Sijbesma (2) 2003).

Für einen dauerhaften Betrieb der Wasserversorgung ist es außerdem essentiell, **Umweltaspekte** zu berücksichtigen **(7)**. Denn auch wenn die Pumpe funktioniert, ist die Nachhaltigkeit nicht gegeben, wenn die Wasserressource in Menge oder Qualität den Bedarf nicht mehr decken kann. Einen wichtigen Einfluss stellen hierbei das Bevölkerungswachstum und die zunehmende Urbanisation dar, wodurch ein wachsender Druck auf Umwelt und Wasserversorgung entsteht. Während die Wasserqualität bei der Implementierung von Projekten in der Praxis normalerweise Beachtung findet, ist dies bzgl. der verfügbaren Wassermenge meist weniger der Fall. Zwar hat sich der Ansatz eines Integrierten Wasserressourcen-Managements auf internationaler und nationaler Ebene mittlerweile etabliert

und verfügt über breit akzeptierte Prinzipien, jedoch existieren nur wenige gute Beispiele, wo sie auf lokaler Ebene in Anwendung gebracht werden.

Generell liegt das Problem bei der weltweit zunehmenden Nachfrage nach einer abnehmenden Ressource, deren räumlicher und zeitlicher Verteilung auf der Welt und den Zusammenhängen zwischen der Wassernutzung an einer und der Wasserverfügbarkeit an anderer Stelle. Um eine nachhaltige, dauerhafte Nutzung dieser Ressource zu ermöglichen, ist ein globales Integriertes Grundwasserressourcen-Management (engl. Integrated Water Resource Management – IWRM) zur deren angepasster und zukunftsweisender Bewirtschaftung nötig. Dies bedeutet zum einen die Abwägung zwischen verschiedenen Nutzungsansprüchen, wobei die Trinkwassernutzung den mengenmäßig kleinsten aber vorrangigsten Teil darstellt, und zum anderen grenzübergreifende Verhandlungen und Absprachen bzgl. der Nutzung gemeinsamer Wasserressourcen. Bislang setzt das Konzept in erster Linie auf nationaler und internationaler Ebene an und beinhaltet neben Gesetzgebung und strategischer Planung die Erkundung und Bewertung von Grundwasserressourcen, die Erstellung von Grundwasserkarten sowie die Erarbeitung von angepassten Nutzungskonzepten. Dies sind z.B. Aufgaben, die die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit wahrnimmt. Werden Projekte in diesem Rahmen geplant, sind ihre Auswirkungen auf das Grundwasser weniger kritisch.

Auf Ebene der Kleinprojekte sind die Ansätze des IWRM jedoch noch kaum in die tägliche Praxis integriert. Ein häufig gemachter Fehler liegt dabei in der Unterschätzung der Rolle der Trinkwasserentnahme bei der Bewirtschaftung eines Wasservorkommens aufgrund der verhältnismäßig geringen Entnahmemengen. Jedoch kann die Trinkwasserversorgung dem jeweiligen Grundwasservorkommen einen bedeutenden Prozentsatz der jährlichen Neubildungsmenge entziehen, so dass im schlimmsten Fall der örtliche Grundwasserspiegel abfallen und die Ernte vertrocknen oder die Pumpe trocken fallen kann. Selbst wenn die Grundwasserneubildung über einen längeren Zeitraum ausreichend war, kann ein regenarmes Jahr oder die Erhöhung der Fördermenge (z.B. durch Bevölkerungszunahme oder die Installation eines neuen, leistungsstärkeren Pumpensystems) dazu führen, dass mehr Wasser entnommen wird als neugebildet werden kann. Dies ist auch eine Gefahr bei der Umrüstung von handbetriebenen Pumpensystemen auf einen Betrieb mittels Solarenergie oder Windkraft, da es hier durch die wesentlich höhere Fördermenge zu einer Übernutzung der Wasserressource kommen kann.

Auch bei der erstmaligen Installation von Pumpensystemen muss ein besonderes Augenmerk auf einer ressourcenangepassten Fördermenge liegen. Hierfür ist die Kenntnis der Größe des Grundwasservorkommens, der Neubildungsrate sowie der Entnahmemenge essentiell. Es sollte ein Profil des jeweiligen Grundwasservorkommens durch einen professionellen Hydrologen erstellt werden, das alle Zu- und Abflüsse berücksichtigt. Außerdem sollten in Zusammenarbeit mit der Gemeinde alle potentiellen Wasserquellen und -nutzungen sowie Trends bzgl. des zukünftigen Wasserbedarfs ermittelt werden. Eine derartige Ressourcen-Inventarisation kann auch einen geeigneten Startpunkt für weitere Zusammenarbeit zum Thema Ressourcenmanagement bilden. Von großer Wichtigkeit ist trotzdem, dass neben den Informationen durch die Gemeinde und direkten Messungen wie Pumpversuchen, wenn möglich, eine geeignete hydrogeologische Beurteilung aufgrund von Langzeitmessungen hinzugezogen wird. Denn übliche Testverfahren wie Pumpversuche an neuen Bohrlöchern sind zwar besser als keine Untersuchungen, bilden aber auch lediglich einen „Schnappschuss“ ab, der nicht zwangsläufig mit dem Langzeitverhalten übereinstimmen muss. Eine wichtige Grundlage für die Bestimmung der Belastung der Wasserressource liegt darüber hinaus in der Sammlung von Daten zur Entnahmemenge. Dies wird bislang jedoch auch meist vernachlässigt. Eine weitere wichtige Grundlage, um einer Übernutzung der Wasserressource vorzubeugen, ist die Bewusstseinsschaffung bei den Nutzern sowie Maßnahmen, um Verschwendung vorzubeugen, wie z.B. durch Gebührenzahlungen (BGR 2012, Jousma 2004, Moriarty 2003, Vrba 2004, WaterAid 2011).

Da eine nachhaltige Wasserversorgung nur sichergestellt werden kann, wenn ihr Status regelmäßig überwacht wird, ist ein entsprechendes, langfristiges **Monitoring (8)** vor Ort ein weiterer wichtiger Baustein. Nur so ist auch eine effektive Erfolgskontrolle für Regierungen, Geldgeber und Gemeinden möglich. Leider wird dieser wichtige Punkt in der Praxis bislang stark vernachlässigt, so dass nur wenige Organisationen nach Projektabschluss noch die weitere Entwicklung verfolgen, um die Nachhaltigkeit ihres Projektansatzes zu überprüfen. Es empfiehlt sich, ein einfaches Monitoringsystem aufzubauen, in das die Gemeinde ebenfalls einbezogen wird, und Aufzeichnungen über Funktion und Nutzung der Fördereinrichtung anhand einfacher Warnindikatoren auf Basis der Beobachtungen der Nutzer sowie regelmäßiger Überprüfungen im Abstand mehrerer Jahre geführt werden. Zum Aufbau eines effektiven Monitoringsystems, in das Daten aller Akteure des Wassersektors des jeweiligen Landes fließen, ist somit die Zusammenarbeit mit Institutionen auf Regierungsebene nötig. Generell empfehlen sich außerdem landesweite Analysen des Sektors mittels Studien, um Schwachstellen zu erkennen und über Länderprogramme reagieren zu können (WaterAid 2011).

Von Vorteil ist es auch, wenn Gemeinden die Möglichkeit haben, **externe Unterstützung** bei Schwierigkeiten bzgl. der **Managementaufgaben (10)** zu erhalten, wenn interne Probleme wie Konflikte, Vertrauensverluste oder die Unwilligkeit einzelner Gemeindemitglieder, z.B. ehrenamtliche Aufgaben oder Gebührenzahlungen wahrzunehmen, auftreten, die innerhalb der Gemeinde schwierig lösbar sind und die Nachhaltigkeit der Wasserversorgung gefährden (WaterAid 2011).

Da nicht alle Wartungs- und Reparaturmaßnahmen auf Ebene der Gemeinde durchgeführt werden können, muss bei größeren Schäden, die die Kapazität der Gemeinde übersteigen (wie z.B. eine korrodierte Steigleitung der Pumpe, Schäden durch Erdrutsche oder Überflutung, Kontamination der Wasserressource etc.) ein Zugang zu **externer technischer Unterstützung (11)** in Form eines entsprechenden Support-Service für die Gemeinden möglich sein. Im Rahmen nationaler Programme ist es wichtig, hierfür klare Grenzen zu definieren, und entsprechende Instanzen, die darüber entscheiden, festzulegen. Die Verantwortung hierfür liegt auf Regierungsebene, zur kontextspezifischen Erarbeitung empfiehlt sich daher eine Zusammenarbeit von staatlichen Institutionen und beratenden Organisationen oder NGOs aus dem Bereich der technischen Zusammenarbeit (Taylor 2009, WaterAid 2011).

Geht man von der gegebenen Situation aus, dass Gemeinden meist nicht die vollen laufenden sowie Reparatur- oder Ersatzkosten für ihr Pumpensystem aufbringen können, bleiben häufig nur zwei Möglichkeiten. Diese sind zum einen ein Umstieg auf ein niedrigeres Level (z.B. Seil und Eimer), zum anderen die Übernahme der Kosten durch eine externe Instanz. Zwar ist letzteres keine erstrebenswerte Lösung, jedoch sollte generell eine **externe Übernahme von Teilkosten (12)** als Möglichkeit in Erwägung gezogen werden, da dies in Einzelfällen sinnvoll sein kann. Vielerorts finden sich Regierungsprogramme, in deren Rahmen eine periodische (teure) Wiederinstandsetzung von Pumpensystemen von staatlicher Seite aus übernommen wird. Hier ist evtl. eine regelmäßige und geplante Übernahme von Wartungskosten die kostengünstigere Alternative (WaterAid 2011).

Da einzelne Gemeinden, der Privat-Sektor, die Zivilgesellschaft und andere Organisationen keinen **Einfluss auf Lieferketten (13)** und Ersatzteilverfügbarkeit haben, muss durch eine Organisation auf höherer Ebene (Distrikt-, Provinz-, regionale oder nationale Regierungsorganisationen) dafür Sorge getragen werden. Zwar können Lieferketten nur aufgrund von Nachfrage entstehen, aber die Regierung kann die geeigneten Bedingungen sicherstellen, damit sie entsprechend funktionieren können, sowie lokale Kleinanbieter direkt oder indirekt stärken. Eine direkte Stärkung kann z.B. über Linzensierungen und Registrierungen erfolgen, eine indirekte Stärkung über den Zugang zu Kapital, technischer Unterstützung, administrativen Dienstleistungen etc.. Auch hier setzen Projekte der staatlichen Entwicklungszusammenarbeit an. Eine Möglichkeit im Rahmen von Kleinprojekten liegt in der Ausbildung spezieller Pumpenmechaniker/innen, die sich so außerdem eine kleine Existenz aufbauen und

ggfls. sogar zu einer Modernisierung des Geschlechterrollenverständnisses führen können (z.B. WaterAid in Indien) (WaterAid 2011).

Ländliche und urbane Siedlungen in Entwicklungsländern sind vielen Veränderungen von außen ausgesetzt, wie z.B. Bevölkerungswachstum, Weg- oder Zuzug von Bevölkerungsteilen, Auswirkungen des Klimawandels und der globalen Märkte, welche die Nachhaltigkeit von Wasserversorgungssystemen beeinflussen. Diesen **externen Einwirkungen (14)** können Gemeinden ebenfalls nur schlecht adäquat begegnen und benötigen so externe Unterstützung bei der Entwicklung und Durchführung von Anpassungsstrategien und -maßnahmen. Die Festlegung und Durchführung dieser kann nur auf Länderebene in Form von Länderprogrammen geschehen, weshalb auch hier ein Ansatzpunkt für Projekte der Entwicklungszusammenarbeit auf staatlicher Ebene liegt (WaterAid 2011).

Schlussfolgerungen

Die vorangegangenen Unterpunkte machen deutlich, dass eine effektive externe Unterstützung des gemeindebasierten Wasserversorgungsmanagements in Bezug auf die Nachhaltigkeit eine Menge bewirken kann. Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, dass das genaue Design der einzelnen Projekte kontextspezifisch ist, und das hier dargestellte Konzept nur einen groben Leitfaden darstellen kann, bei dem die Gewichtung der einzelnen Aspekte von Projekt zu Projekt variiert (WaterAid 2011).

Aus der Analyse bisheriger Wasserprojekte wird darüber hinaus deutlich, dass die nachhaltige Unterhaltung von Wasserversorgungseinrichtungen zwar zu einem nicht unerheblichen Teil auf nichttechnischen Sachverhalten beruht, die Wahl des Pumpensystems jedoch trotzdem für die Nachhaltigkeit essentiell ist. Denn von der Wahl des Pumpensystems ist zum einen die langfristige Nutzbarkeit der Grundwasserressource abhängig, zum anderen die dauerhafte Unterhaltbarkeit durch die Gemeinde. Wichtig ist eine möglichst optimale Anpassung des Pumpensystems an die jeweiligen Gegebenheiten vor Ort. Je nach Höhe des Wasserbedarfs, Größe der Wasserressource, Lage und Zugänglichkeit der Gemeinde, vorhandener Infrastruktur, politischer Situation im Land, staatlicher Unterstützung, regionaler Wirtschaft und finanzieller Ressourcen, aber auch Beziehung zwischen Gemeinde und Geberorganisation können völlig unterschiedliche Pumpensysteme zum Einsatz kommen. Besteht beispielsweise eine dauerhafte Beziehung zwischen einer Gemeinde und der Geberorganisation, wie es z.B. bei manchen Partnerschaften kirchlicher Gemeinden der Fall ist, und ist somit für eine langfristige Nachbetreuung gesorgt, kann ein ganz anderes, z.B. höher technisiertes, Pumpensystem gewählt werden als im Rahmen einer lediglich kurzfristigen Zusammenarbeit.

Wichtig bei der Wahl des Pumpensystems ist darüber hinaus die Berücksichtigung des aktuellen, aber auch des zukünftigen Bedarfs. Wo dies möglich ist, sollte das Pumpensystem daher folgende drei Eigenschaften aufweisen: „ganzheitlich“ – unter Einbeziehung der unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzer, „ausbaufähig“ – vor dem Hintergrund des Bevölkerungswachstums und im Rahmen der vorhandenen technischen und finanziellen Mittel, „aufrüstbar“ - da Verbesserungen in der Basisversorgung oft auch zu einer sozioökonomischen Entwicklung einer Gemeinde führen, sollte ein späteres ’Upgrading’ möglich sein (Wijk-Sijbesma (2) 2003).

In Regionen, in denen Regierungsorganisationen keine externen Unterstützungsangebote für Gemeinden unterstützen, ist, wie in Kapitel 2.2.3 bereits erwähnt, evtl. ein Umdenken bzgl. des Wasserförderungs-Systems angebracht. Hier liegt der Ansatz zunehmend bei der Errichtung ganz einfacher Systeme (z.B. Seilpumpen), deren Wasserqualitätssicherheit zwar geringer ist, die für kleine, abgelegene Gemeinden mit geringen finanziellen Ressourcen aber nachhaltiger unterhaltbar sind als höher technisierte Pumpensysteme (Breslin 2003).

Ein häufiger Kritikpunkt liegt bei den zahlreichen, völlig unterschiedlichen Akteuren in der Entwicklungszusammenarbeit im Wassersektor – vor allem auf Ebene der Kleinprojekte – und den damit zusammenhängenden unterschiedlichen Ansätzen, Vorgehensweisen und Pumpensystemen. Diese

Kritik ist zum einen berechtigt, da die verschiedenen Projektansätze unterschiedlich erfolgreich sind, nur punktuelle Verbesserungen erzielen und aufgrund ihrer Vielfalt sektorale Lern- und Entwicklungsprozesse behindern und die Ersatzteilverfügbarkeit erschweren. Zum anderen sind jedoch je nach örtlichen Gegebenheiten ganz unterschiedliche Pumpensysteme erforderlich, weshalb beispielsweise eine vollständige Standardisierung von Seiten der Regierung, wie in manchen Ländern der Fall (z.B. Tansania, Stand 2003), hier auch nicht sinnvoll und der Nachhaltigkeit wenig förderlich ist. Zwar vereinfacht dies die Ersatzteilerhältlichkeit, erlaubt eine standardisierte Ausbildung von Fachkräften und erleichtert den Umgang mit dem Pumpensystem für die Nutzer, berücksichtigt allerdings weder die verschiedenen Nutzeransprüche noch örtlichen Gegebenheiten sowie technischen Fortschritt oder Veränderungen in der Lebensweise der Nutzer (Breslin 2003, Schouten 2005, Wijk-Sijbesma (2) 2003).

Um flächendeckende Verbesserungen in der Trinkwasserversorgung zu erreichen, müssen unterschiedliche Pumpensysteme verwendet, ein grundsätzlich gemeindebasierter Ansatz weiterverfolgt, und Regierungsorganisationen einbezogen und Landesprogramme für Koordination, Harmonisierung und (rechtliche) Rahmenbedingungen entwickelt werden. Daher ist es wichtig, dass Entwicklungszusammenarbeit mit dem Ziel der Nachhaltigkeit auf allen drei o.g. Projektebenen ansetzt.

Ein Schwerpunkt der Arbeit großer staatlicher Organisationen wie z.B. die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) und BGR liegt daher inzwischen auf übergeordneter Programmebene, um geeignete Rahmenbedingungen für die Entwicklung des Wassersektors unter Beachtung eines langfristigen Ressourcemanagements zu schaffen und so die Aktivitäten auf den verschiedenen Ebenen miteinander abzustimmen. Große internationale Organisationen wie beispielsweise WaterAid und UNICEF gehen auch zunehmend dazu über, ihre Erkenntnisse aus der jahrelangen technischen Zusammenarbeit in die Beratung von Regierungsinstitutionen und die Erarbeitung von Länderprogrammen einzubringen. Kleinprojekte bringen oftmals die direkteste, unkompliziertesten Hilfe, sollten jedoch, um nachhaltig erfolgreich zu funktionieren, an Programmen und Vorgaben der einzelnen Länder orientiert sein und versuchen, lokale Regierungsorganisationen miteinzubeziehen.

3.2 Projekt-Beispiel: BGR-Projekt „Verbesserung der Trinkwasserversorgung für die armen Bevölkerungsgruppen im Chaco von Paraguay“

Das folgende Kapitel stellt ein Wasserversorgungsprojekt unter Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) vor, das die Verbesserung der Trinkwasserversorgung in einem Teilbereich von Paraguay zum Ziel hatte. Das Projekt verfolgte einen sehr erfolgsversprechenden nachfrageorientierten und gemeindebasierten Ansatz unter Nutzung regenerativer Energien und traditioneller Wassergewinnungsmethoden der Region und wurde von 1994 bis 1998 durchgeführt. Die aktuelle, nachträgliche Betrachtung (2013) ergab jedoch leider, dass das Projekt nicht nachhaltig erfolgreich war.

3.2.1 Örtliche Gegebenheiten und Ausgangssituation

Der „Chaco“ ist eine Region im Westen Paraguays, die bei einer Ausdehnung von 240.000 km^2 etwa zwei Drittel des Staatsgebiets einnimmt. Hier lebten in den 1990er Jahren jedoch nur etwa zwei Prozent der Bevölkerung, da das extrem semiaride Klima, das Fehlen einer modernen Infrastruktur und vor allem der Mangel an Trinkwasser die Besiedlung erschwert. Die Trinkwasserressourcen sind knapp, da ein Großteil des Grundwassers salzig ist, und ganzjährig fließende Gewässer bzw. Seen fehlen. Da Paraguay einen hohen Bevölkerungszuwachs verzeichnet, den die traditionellen Siedlungsgebiete östlich des Río Paraguay nicht mehr aufnehmen können, hat die paraguayische Regierung die Besiedlung des Chaco zum vordringlichen Ziel der Landesentwicklung erklärt.

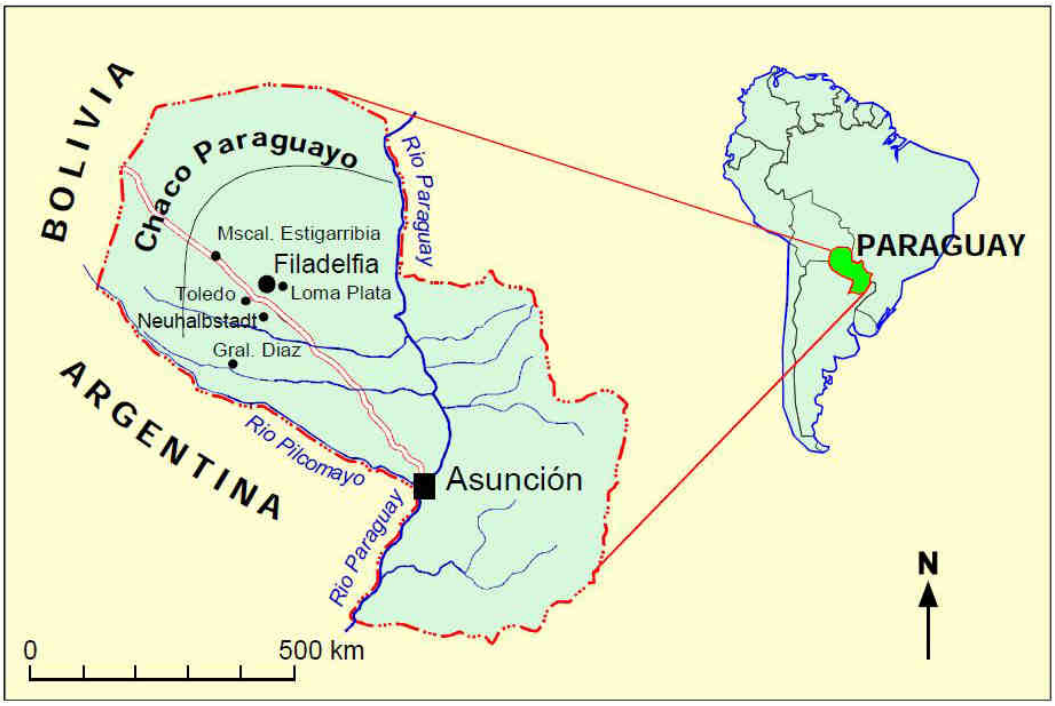


Abb. 66: Lage des Chaco in Paraguay

Unterstützt wurde sie dabei von der Bundesrepublik Deutschland mit dem Ziel, die Trinkwasserversorgung in der ländlichen Region zu verbessern. Dafür erkundeten die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und die zuständige regionale Wasserbehörde Dirección de Recursos Hídricos (DRH) die Grundwasservorkommen im Umfeld der Stadt Filadelfia, um die gewonnenen Erkenntnisse für die Trinkwasserversorgung von Siedlungen der indianischen Urbevölkerung und der paraguayischen Campesinos umzusetzen.

Bevölkerungsstruktur

Bis zur Besiedlung durch die aus Russland und Kanada eingewanderten Mennoniten in den Jahren 1930 bis 1948 lebten im zentralen und westlichen Chaco lediglich kleine Gruppen der indianischen Urbevölkerung. Zum Projektzeitpunkt wohnten in den Kolonien der Mennoniten mit den Zentren Filadelfia, Loma Plata und Neuhalbstadt etwa 12.000 plattdeutsch sprechende Mennoniten, die von Viehzucht, Ackerbau und einer einfachen Kleinindustrie lebten. Angezogen von der Infrastruktur, den Verdienstmöglichkeiten und den besseren Lebensbedingungen in den Kolonien hatten sich außerdem rund 20.000 Indianer aus etwa zehn ethnischen Gruppen im Umkreis der mennonitischen Ländereien angesiedelt. Sie hatten größtenteils ihr ursprüngliches Nomadenleben aufgegeben und verdingten sich entweder als Tagelöhner auf den großen Estancias oder arbeiteten in den mennonitischen Handwerksbetrieben. Darüber hinaus siedelten in den letzten Jahrzehnten ebenfalls spanisch sprechende Paraguayer (Campesinos) aus dem Ostteil des Landes in den zentralen Chaco um. Sie lebten zum Teil von Viehzucht und Ackerbau, zum Teil arbeiteten auch sie als Tagelöhner auf den großen Estancias. Diese Volksgruppe bestand derzeit aus etwa 5.000 Personen.

Bestehende Wasserversorgung im Chaco

Der mittlere jährliche Niederschlag im Chaco liegt zwischen 800 und 900 mm, selten bis zu 1.600 mm. Der größte Teil der Niederschläge fällt in den Monaten November bis März. Da dies die Zeit der höchsten Tagestemperaturen, des stärksten Pflanzenwachstums und damit auch der höchsten Evapotranspiration ist, verdunstet ein Großteil des Regenwassers, noch ehe es von den Menschen genutzt werden kann, so dass bereits ein natürliches Wasserdefizit besteht. Die Nutzung der sporadi-

schen Niederschläge in dieser Zeit und die Erschließung von Grundwasser bilden die zentrale Aufgabe für die Trinkwasserversorgung.

Da es keine staatliche oder private Organisation gibt, die für zentrale Wasserversorgung zuständig ist, ist die Sicherstellung der Wasserversorgung im Chaco eine individuell zu meisternde Aufgabe, die von jedem Haushalt und jedem Dorf selbst zu lösen ist. In den mennonitischen Siedlungen sorgt die kooperative Wirtschafts- und Verwaltungsstruktur für die Wasserversorgung der Gemeinschaftsprojekte, während die Hauseigentümer und Estancieros jedoch selbst für ihr Trink- und Brauchwasser sorgen müssen. Die Siedlungen der Indianer und Campesinos verfügen lediglich über einen unzulänglichen Zugang zu Trinkwasser, da ihnen die finanziellen Ressourcen für die Einrichtung zentraler Wasserversorgungen fehlen. Vorhandene Lagunen, Wasserlöcher und handgegrabene Brunnen geben gewöhnlich nur in der Regenzeit Wasser. Mit fortschreitender Trockenzeit schwindet das Wasser in den offenen Stellen, die Brunnen fallen trocken, oder das Wasser wird zunehmend salzig. Die bakteriologische Qualität ist das ganze Jahr hindurch schlecht. Private und kirchliche Hilfsorganisationen haben punktweise zur Verbesserung der Wasserversorgung beigetragen, aber keine zentralen Versorgungssysteme gebaut.

Traditionelle Methoden der Trinkwasserversorgung sind das Auffangen und Speichern des Regenwassers von Dächern, die Erschließung lokaler, kleiner Süßwasserkörper durch Brunnen und das Sammeln von Oberflächenwasser in künstlichen Erdbecken (Tajamare).

1.) **Auffangen von Regenwasser**: Dabei wird von Dächern ablaufendes Regenwasser in unterirdischen, gemauerten Zisternen gespeichert und mit einer Handpumpe in Eimer gefüllt oder mittels einer elektrischen Pumpe in einen Hochbehälter gepumpt, von wo es per Schwerkraft in das Hausnetz fließt. Solange Dachrinnen und Zisternen sauber gehalten werden, bleibt die Wasserqualität gleich bleibend gut.

Von mennonitischen Wohnhäusern können bei einer Niederschlagsmenge von 850 mm pro Jahr und einer durchschnittlichen Dachfläche von ca. 300 m² jährlich etwa 190.000 Liter Trinkwasser aufgefangen werden. Dabei sind 25% Verlust für die Reinigung des Daches und der Dachrinnen eingerechnet. In den städtischen Zentren kann von einem Verbrauch von 220.000 Liter im Jahr für eine sechsköpfige Familie ausgegangen werden. Daher werden bei Neubauten heute Zisternen mit einem Gesamtfassungsvermögen von 60.000 bis 90.000 Litern gemauert.

Die Häuser der Campesinos mit durchschnittlich ca. 120 m² Dachfläche sammeln hingegen nur rund 75.000 Liter pro Jahr, weshalb eine sechsköpfige Familie mit 66.000 Litern im Jahr auskommen muss. Mangels finanzieller Ressourcen werden meist nur kleine Zisternen mit 5.000 – 15.000 Litern Speichervolumen gebaut.

In den indianischen Siedlungen eignen sich lediglich die mit Ziegeln oder Wellblech gedeckten Schulgebäude und Kirchen zum Auffangen von Regenwasser. Die Wohnhütten sind mit Gras oder Holzschindeln und Kunststoffplanen gedeckt (siehe Abb. 67).

Abb. 67: Typische Wohnhütte der indigenen Bevölkerung des Chaco

2.) **Grundwassernutzung**: Im Gebiet des zentralen und westlichen Chaco fließt das Grundwasser der flachen Neigung der alten Deltafläche folgend langsam von West nach Ost mit Fließgeschwindigkeiten zwischen 0,6 und 1,8m / Jahr. Im zentralen, sehr viel dichter besiedelten Teil zwischen den Orten Mariscal Estigarribia, Loma Plata und General Diaz liegen die Flurabstände zum phreatischen Grundwasserspiegel zwischen 3 und 15m. Das Grundwasser ist regional brackisch bis hoch versalzen mit elektrischen Leitfähigkeiten bis zu 60.000 MicroSiemens / cm (bei 25°C).

Unter günstigen Bedingungen können sich jedoch lokal aus der Versickerung von Regenwasser süße Grundwasserlinsen bilden (siehe Abb. 68). Voraussetzungen dafür sind die Existenz einer natürlichen geomorphologischen Senke oder eines künstlich angelegten Sammelbeckens (Tajamar) sowie intensive Niederschlagsereignisse (> 35 mm pro Ereignis), die einen so hohen Oberflächenabfluss erzeugen, dass sich das Wasser in den Senken oder Tajamaren sammeln kann. Weiter ist ein sandiger, gut durchlässiger Boden in der Senke nötig, um das Versickern des Wassers zu erleichtern, sowie ein vorwiegend sandiger, gut durchlässiger Aufbau der ungesättigten Zone, damit ausreichend Speichervolumen existiert, und ein Grundwasserflurabstand von mindestens 4m. Wichtig ist außerdem eine niedrige Grundwasserfließgeschwindigkeit, um die Vermischung der Süßwasserlinse mit dem umgebenden salzigen Grundwasser zu verzögern. Aus der Grundwasserlinse kann dann Wasser mittels Brunnen und Pumpen gefördert werden. Die Erschließung der Süßwasserlinsen ist neben dem Auffangen des Regenwassers der einzige Zugang zu Trinkwasser guter Qualität. Mit künstlicher Versickerung durch den Bau von Tajamaren kann die Auffüllung natürlicher Süßwasserlinsen optimiert und die Bildung neuer Linsen an vorgeplanter Lokalität künstlich eingeleitet werden.

Dies wird z.B. auch in Filadelfia erfolgreich durchgeführt, wo aus einer Süßwasserlinse, die von einer Gruppe von Tajamaren gespeist wird, jährlich 50.000 m³ Wasser gepumpt werden.

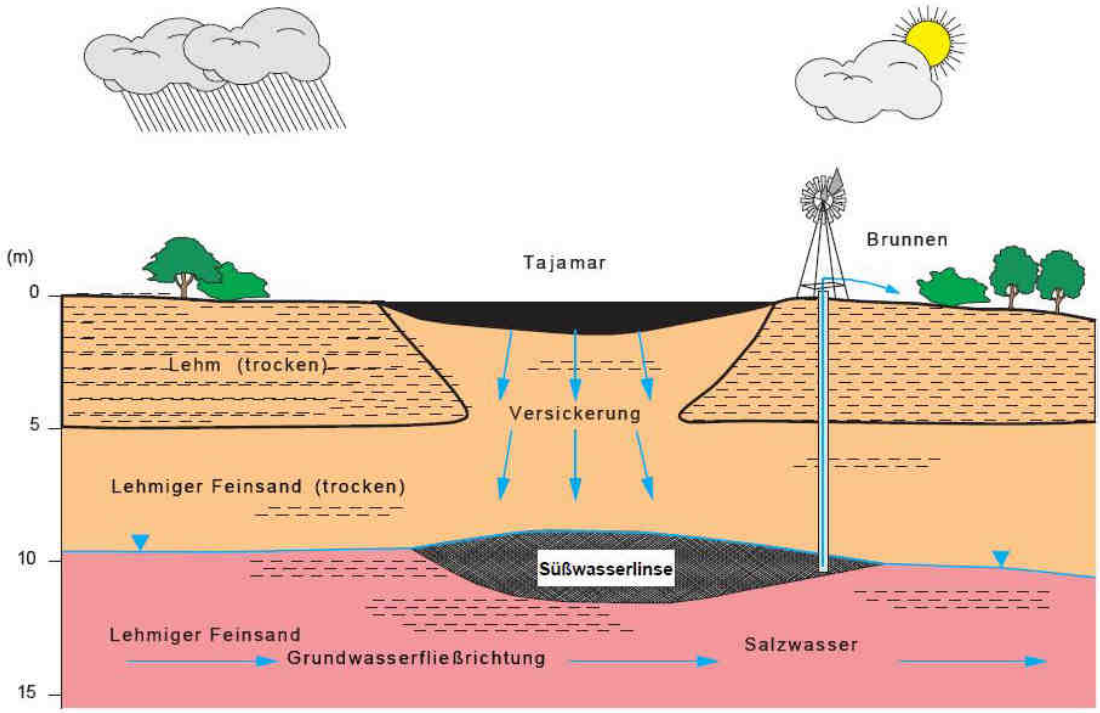


Abb. 68: Bildung einer Süßwasserlinse durch die Versickerung von Regenwasser

3.) **Oberflächenwasserspeicherung**: da große Gebiete des zentralen Chaco mit sandigen Lehmen und Tonen bedeckt sind, sind sie ungeeignet für die Methode der künstlichen Grundwassererneuerung. In diesen Gebieten kommt nur salziges Grundwasser vor. Hier werden Tajamare in möglichst gering durchlässiger Bodenformation ausgehoben, um zufließendes Oberflächenwasser für die niederschlagsarmen Monate vorzuhalten. Diese Methode der Wasserversorgung ist aufgrund des hohen Verdunstungsverlustes (ca. 1.500mm / Jahr) und des sehr hohen Trübe- und Bakteriengehaltes im Tajamarwasser die ungünstige. Gleiches gilt auch für das Wasser aus Lagunen und Wasserlöchern. Trotz häufiger Durchfallerkrankungen werden diese Wasservorkommen jedoch genutzt, weil sie für die Mehrzahl der Indianer und Campesinos die einzige Quelle für Trinkwasser sind.

Um die Situation zu entschärfen, transportieren die Verwaltungen der Departamentos alljährlich Wasser mit Tankwagen in die Dörfer, was mit erheblichem Kostenaufwand verbunden ist. Weiter abgelegene Siedlungen werden jedoch nicht erreicht (von Hoyer 1998, Junker 1998, Wiens 2006).

3.2.2 Projektbeschreibung

Die prekäre Trinkwassersituation im größten potentiellen Siedlungsgebiet Paraguays führte zu dem Ansatz, im Rahmen eines Projektes der technischen Zusammenarbeit die Wasserversorgung im Projektgebiet durch optimierte Methoden der Wassergewinnung nachhaltig zu verbessern.

Projektansatz

Das Projekt baute dabei auf hydrogeologischen Erkundungen der Grundwasserressourcen und der Erhebung traditioneller Wassergewinnungsmethoden auf. Darüber hinaus wurde ein nachfrageorientierter Ansatz verfolgt, weshalb die Beratung interessierter Gruppen (Siedlungen, Dorfgemeinschaften) und Einzelgehöfte auf Beantragung erfolgte. Dabei musste der Antrag der Dorfgemeinschaft das bestehende Wasserproblem klar darstellen und Eigenleistungen der Dorfbewohner definieren. Daraufhin erhielten die Antragsteller an den lokalen hydrologischen Gegebenheiten orientierte konkrete Unterstützung bei der Planung und Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung oder zur Neu-

installation von Wassergewinnungsanlagen. Dafür wurden vorhandene Wasserressourcen begutachtet und die Vorschläge zu deren Ausbau mit der Dorfgemeinschaft diskutiert. Das Projekt erarbeitete daraufhin technisch umsetzbare Empfehlungen, die in einer Dorfversammlung zur Diskussion gestellt wurden. Nach Einigung auf einen gemeinsamen Plan, wurden außerdem die beiderseitigen Leistungen festgelegt. Das Projekt setzte dabei auf einen Mix verschiedener Wassergewinnungsmethoden und deren Optimierung.

Ein weiterer wichtiger Punkt lag in der Forderung, einfache, im Chaco erprobte Techniken, lokales handwerkliches Potential und lokal erhältliches Baumaterial zu nutzen. Ziel war, dass die Versorgungsanlagen von den Dorfbewohnern gebaut und instand gehalten werden können, dass alle Ersatzteile lokal erhältlich sind, und die Investitionen des Projekts die lokale Wirtschaft beleben.

Außerdem lag ein Schwerpunkt auf der aktiven Beteiligung der Gemeinde, um eine Identifizierung der Bevölkerung mit dem Projekt zu erreichen. Die Dorfgemeinschaften wurden bei Planung und Bau voll in das Projekt integriert und erbrachten einen Großteil der Arbeit in Eigenleistung, wodurch ihnen auch die handwerklich und technisch notwendigen Kenntnisse vermittelt werden sollten, die für den zukünftigen Betrieb und die Instandhaltung der Wasserversorgungsanlagen unabdingbar sind. Um das Ziel zu erreichen, die Funktionsfähigkeit der Anlagen weitgehend durch die Dorfbewohner erhalten zu können, erfolgte die volle Einbindung nicht nur der Männer, sondern auch der Frauen, denen in der indianischen Kultur die Aufgabe der Wasserbeschaffung obliegt, in alle Abschnitte der Projektarbeit.

Um die örtlichen Gegebenheiten zu nutzen und von Treibstoffen unabhängig zu sein, wurden Windpumpen für die Wasserförderung genutzt.

Methoden der Wassergewinnung

Ziel des Projekts war es, die Versorgung mit gutem Trinkwasser ganzjährig zu sichern. Da die Versorgung mit Regenwasser nur in den entsprechenden Jahreszeiten sicher ist, wurde bei alternativen Möglichkeiten dem Grundwasser immer der Vorrang gegeben. War zusätzlich die Nutzung des Regenwassers von Dachflächen möglich, wurde auch diese Ressource angeschlossen.

1.) Regenwassernutzung

Bei salzigem Grundwasser und geeigneten Dachflächen für das Auffangen von Regenwasser, waren das Anbringen von Dachrinnen und der Bau von Zisternen für das ablaufende Regenwasser die geeignetsten Maßnahmen.

2.) Aushub von Tajamaren

In Dörfern, in denen das Grundwasser salzig war, und keine geeigneten Dachflächen für das Auffangen von Regenwasser zur Verfügung standen, blieb lediglich die Möglichkeit der Trinkwassergewinnung über den Aushub von Tajamaren in einer geomorphologischen Senke mit gering durchlässigen Sedimenten ausreichender Mächtigkeit (z. B. tonigen, schluffigen oder lehmigen Alluvionen). Dafür wurde mit Hilfe von Handbohrungen ein geeigneter Standort in der Nähe des Dorfes gesucht. Die Größe des Tajamars richtete sich dabei nach dem geschätzten Wasserverbrauch der Siedlung. Zur Reduzierung des Verdunstungsverlustes sollte die Tajamartiefe 1,5m nicht unterschreiten. Die Ausschachtung des Erdbeckens geschah mit hydraulisch gesteuerten Erdschaufeln, die von Traktoren gezogen wurden. Zur Überbrückung der achtmonatigen Trockenperiode wurde für eine Indianersiedlung mit 500 Einwohnern bei einem geringen Tagesverbrauch von 10m³ ein Vorratsvolumen von mindestens 2.500 m³ berechnet. Unter Einrechnung von Verdunstungs- und Versickerungsverlusten empfahl sich hier ein Tajamar mit 8.000 - 10.000 m³ Speicherkapazität.

Zur Verteilung des aufgefangenen Wassers konnten dank günstiger Windverhältnisse im Chaco und der überall flachen Topographie Windpumpen eingesetzt werden. Das Wasser wird so mit Hilfe der Windenergie gehoben und in das Leitungsnetz gepumpt. Die Windpumpen wurden lokal in den

Handwerksbetrieben der mennonitischen Kolonien hergestellt und besitzen eine Höhe von 9 - 20m und je nach benötigter Saughöhe und Transportdistanz Windräder mit einem Durchmesser von 2,5 - 3m. In PVC-Schläuchen von 1,5 Zoll Innendurchmesser kann damit Wasser bis zu 5 km Entfernung gedrückt werden.

Entlang der Dorfstraßen wurden Wasserleitungen errichtet, an die in Abständen von 400 - 500m unterirdische Zisternen angeschlossen wurden. Die aus Ziegeln von den Dorfbewohnern gemauerten Zisternen sind mit einer Blechabdeckung gegen Verschmutzung geschützt und haben ein Speichervolumen zwischen 10 und 15m³. Sie dienen als Wasserreserve für windstille Tage und bewirken eine Abkühlung des Wassers. Das Zisternenwasser wird mit einer Handpumpe entnommen, und der Zufluss über Schwimmerventile geregelt. Da Tajamarwasser gewöhnlich einen hohen Gehalt an feiner Sedimenttrübe sowie an Keimen und Bakterien besitzt, wurden den Zisternen mit Sand und Feinkies gefüllte Langsam-Filterbecken vorgeschaltet, die den Sediment- und Keimgehalt reduzieren und Geschmack und Geruch des Wassers verbessern (siehe Abb. 69). Eine völlige Entkeimung des Wassers kann damit allerdings nicht erreicht werden.

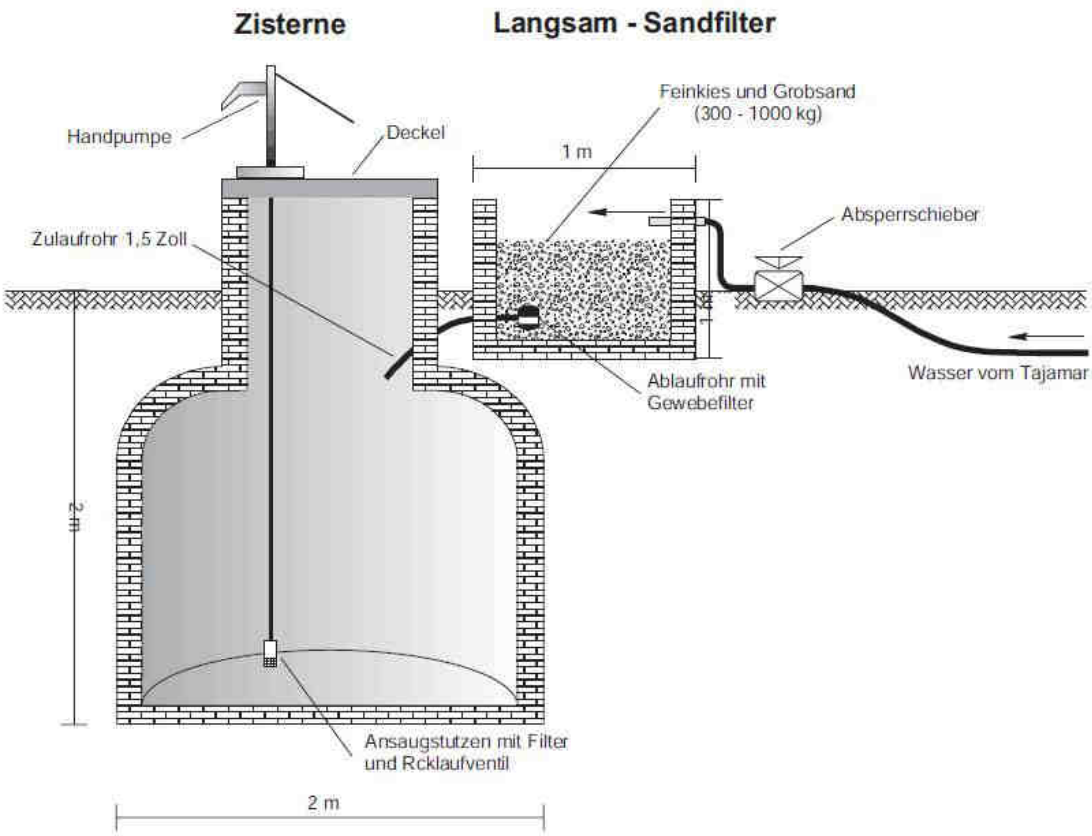


Abb. 69: Zisterne mit vorgeschaltetem Langsam-Wasserfilter

3.) Brunnenbau und Grundwassernutzung

Da die Nutzung von süßem Grundwasser die sicherste und qualitativ hochwertigste Trinkwasserquelle darstellt, wurde diese im Rahmen des Projektes, wenn möglich, bevorzugt.

Dabei wurde eine Kombination von Methoden für das Aufspüren süßer Grundwasserlinsen entwickelt. Diese gründeten sich im Wesentlichen darauf, dass die Position von Süßwasserkörpern durch Infiltrationsflächen angezeigt sind, die sich aus Vegetation, Bodenart, Geomorphologie und Oberflächendrainage erkennen lassen. Dementsprechend wurde auf Süßwasserlinsen mit Luft- und Satellitenbildern und durch Geländebegehung prospektiert. Potentielle Lokalitäten wurden anschließend

mittels Handbohrungen im Detail untersucht.

Für die manuelle Erschließung süßer Grundwasserlinsen müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- die Mächtigkeit der Süßwasserlinse darf 1,5m nicht unterschreiten
- die spezifische elektrische Leitfähigkeit muss unter 2.000 µSiemens/cm liegen, was einem Gesamtsalzgehalt von ca. 1.600 mg/L entspricht
- der Grundwasserflurabstand darf maximal 15m betragen, da sonst die Arbeit beim Abteufen des Brunnens zu gefährlich wird.

Zugleich sollte die Anlage eines Versickerungstajamars zur Steigerung der Grundwassererneuerung vorgenommen werden.

Liegt der Grundwasserspiegel tiefer als 15m unter der Erdoberfläche, ist ein Bohrgerät nötig, mit dem der Brunnen bis zu einer maximalen Brunnentiefe von 30m gebohrt werden sollte.

Der manuelle Brunnenbau hat im Chaco Tradition und wurde von den indigenen Bevölkerungsgruppen ebenso wie von den Campesinos als Eigenleistung in das Projekt eingebracht. Dabei wird ein kreisrundes Loch von ca. 4m Durchmesser bis zu einer Tiefe von etwa 3m ausgeschachtet und vom Boden der Grube ein Ziegelring hochgemauert. Nachfolgend wird weiter Sediment am Grubenboden und unter dem Ziegelring herausgegraben, so dass das Mauerwerk durch sein Eigengewicht nach unten rutscht, während oben fortlaufend weitergemauert wird, bis schließlich der der Grundwasserspiegel erreicht wird. Anschließend wird das Wasser-Sandgemisch geschöpft oder gepumpt, bis der Fuß des Mauerringes 50 bis 80 cm in das Grundwasser abgesenkt ist.

Abb. 70: Ausschachten eines Brunnens in Handarbeit

Vorteile handgegrabener Brunnen gegenüber Bohrbrunnen sind unter den hydrogeologischen Gegebenheiten des zentralen Chaco folgende:

- große Grundwasserzutrittsfläche

- geringe Absenkung, wodurch auch eine Ausbeutung gering-mächtiger Süßwasserkörper möglich ist
- großer Speicherraum im Brunnen selbst
- einfache Reinigung
- Nutzung lokalen Baumaterials
- Handarbeit als Eigenleistung, Maschinen werden nicht benötigt
- geringe Kosten
- Möglichkeit einer späteren Vertiefung.

Über den Brunnen wurden Windpumpen mit einem speziellen, im Rahmen des Projektes entwickelten Filter- und Pumpensystem errichtet (siehe Abb. 71). Mit der speziell entwickelten Multikolbenpumpe kann Brunnenwasser auch aus einer Tiefe bis zu 35m gefördert werden. Leider konnte die Autorin zur speziellen Bauweise und Leistung dieser Pumpe keine weiterführende Literatur oder andere Information erhalten, so dass hier nicht näher darauf eingegangen werden kann.

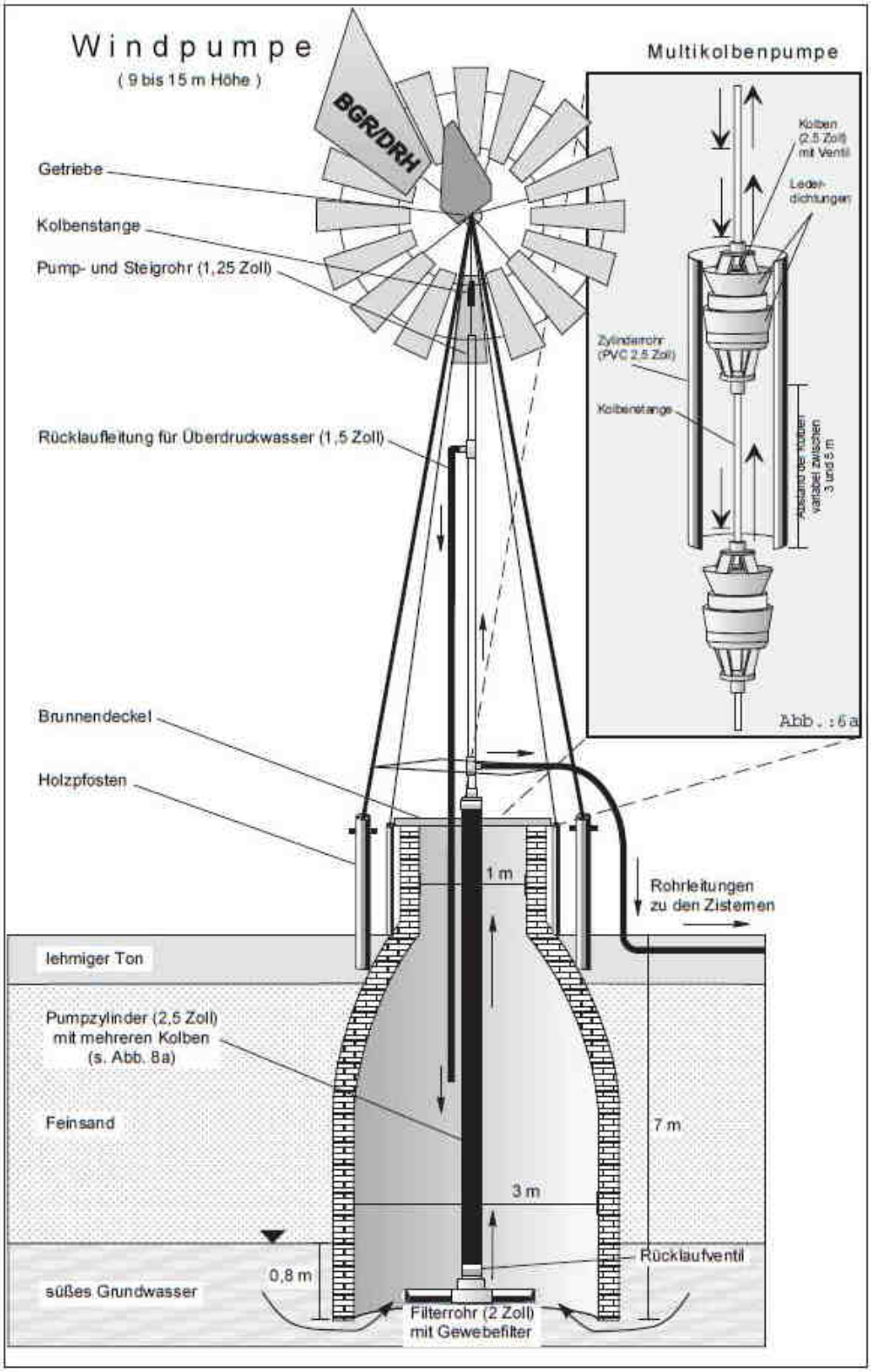


Abb. 71: Windpumpe über einem gemauerten Brunnen

Zur Verstärkung der Grundwasserneubildung am Brunnenstandort wurde außerdem in einer Distanz von etwa 10m in Richtung des Grundwasseranstroms ein Versickerungstajamar ausgehoben, der gewöhnlich eine Fläche von 10 x 30bei 4m Tiefe besaß.

Projektdurchführung

Im Projektzeitraum von 1994 bis 1998 gingen von 75 Dörfern, Schulen und Gesundheitsposten aus dem zentralen und westlichen Chaco schriftliche Anträge für die Einrichtung von Trinkwasserversorgungssystemen bei der Projektleitung ein. Es wurden in insgesamt 71 Dörfern mit einer Gesamtbevölkerung von etwa 26.000 Menschen Wasserversorgungssysteme installiert.

Partizipatives Prinzip und eingebrachte Leistungen

Nach Einigung auf einen konkreten Maßnahmenplan zur Verbesserung der Wasserversorgung wurden die Leistungen festgelegt, die die Antragsteller in das Projekt einbringen sollten, sowie die, die von Seiten der Organisation gestellt wurden.

Leistungen der Antragsteller waren dabei z.B.:

- Freischlagen der Bauplätze für Tajamare
- Schlagen von Schneisen für die Verlegung der Rohrleitung
- Graben von Rohrgräben
- Bau von Brunnen und Zisternen
- Transport von Baumaterial
- Handbohrungen zur Erkundung von Standorten für Tajamare und Brunnen.

Während die Projektorganisation lediglich Unterstützung in der Planung und ggfls. Steuerung lieferte und folgende Leistungen stellte:

- Baumaterial
- Arbeitsgerät
- technische Beratung.

Bei der Umsetzung des Projekts musste beachtet werden, dass die indigenen Urbewohner des Chaco ursprünglich keine permanente Wasserversorgung kannten, sondern von einer Wasserquelle zur nächsten wanderten und Lagunen, Wasserlöcher und temporär fließende Gewässer zur Trinkwasserversorgung nutzten. Ein großer Arbeitsaufwand für den Bau und Erhalt einer Wasserstelle war ihnen daher fremd. Für die Mehrheit der Siedlungen — Indigene wie Campesinos — war das Wasserprojekt das erste größere gemeinsame Unternehmen. In einigen Siedlungen wurden Wasserkomitees gegründet, die mit den angewandten Techniken vertraut gemacht wurden, die Kenntnisse für spätere Reparaturen erlernten und eine Grundausstattung an Werkzeug und Ersatzteilen erhielten.

Weiterführende Unterstützung

Das Projekt war in erster Linie darauf ausgelegt, dass die Dorfgemeinschaften ihre Wasserversorgung nach Abschluss des Projekts selbstständig aufrecht erhalten sollten. Im Laufe des Projekts zeichnete sich jedoch bereits ab, dass je nach interner Organisationsstruktur der Siedlung die Unterhaltung der Wasserversorgung nicht bei allen Gemeinden gleich gut funktionieren würde, und ein ständigerbegleitender Dienst vor Ort benötigt würde. Diese Aufgabe wurde der Provinzverwaltung und der Dirección de Recursos Hidricos übertragen. Letztere erhielten daher Schulungen zur Ausbildung eines Techniker-Teams, um einen Wartungs- und Reparaturservice zur Unterstützung der Gemeinden für größere Reparaturen bereitzustellen. Zur Sicherung der finanziellen Mittel dafür wurden Verträge zwischen den provoncial administrations Regierungen der Provinzen im Chaco und der DRH geschlossen, nach denen die Provinzen die DRH für die Arbeiten, die sie in den Gemeinden durchführen (von Hoyer 1998, Junker 1998).

3.2.3 Beurteilung der Nachhaltigkeit des Projekts

Zur Beurteilung der Nachhaltigkeit des Projekts bedarf es einer nachträglichen Überprüfung der Situation vor Ort. Leider wurde von Seiten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

keine nachträgliche Evaluierung durchgeführt, und im Rahmen des Projekts keine Instrumente zur Erfolgskontrolle eingeführt.

Ein direkter Kontakt mit Dr. Fernando Wiens, einem Geologen vor Ort, der das damalige Projekt beantragt, mitgeleitet und abgeschlossen hatte, ergab, dass sich das Projekt nicht als nachhaltig erfolgreich erwiesen hatte. Dabei bestätigt er dem Projekt einen guten Ansatz, der neben einigen wenigen Grundsatz-Untersuchungen in erster Linie darin lag, traditionelle Wasser-Systeme in ländlichen Indianer- und Campesino-Siedlungen zu installieren. Jedoch funktioniere bei den meisten Indigenen und Campesinos eine Installation nur, solange eine Begleitung gegeben ist. Nach seiner Erfahrung ist unabhängig vom angeführten Aspekt die Nachhaltigkeit eines Projekts nur dann gegeben, wenn eine längerfristige Nachbetreuung (bei geringem Aufwand) gewährleistet ist. Dies war bei diesem Projekt jedoch nicht der Fall. Laut Projektbeschreibung der BGR hatte diese sich bemüht, Nachbetreuungsmöglichkeiten über die örtliche Wasserressourceninstitution Dirección de Recursos Hidricos (DRH) zu initialisieren, was jedoch anscheinend nicht den gewünschten Erfolg erzielte. Diesbezüglich scheint eine Schwachstelle bei der Umsetzung durch die örtlichen zuständigen Institutionen zu liegen. Dr. Wiens gibt ebenfalls an, dass, obwohl die Wasserproblematik dort vordringlichstes Thema ist, keine funktionierende Wasser-Institution im Chaco existiert, der Staat nicht präsent ist, und Lokalpolitiker die Notwendigkeit meist nicht sehen.

Zwar liegen für den Chaco zahlreiche Daten bzgl. Hydrogeologie, Wasserchemie, Grundwasservorkommen und der regionalen Verteilung vor, sowie umfangreiche Untersuchungen von traditionellen und alternativen Wasserversorgungssystemen bis hin zu einem Wasserwirtschaftsplan, jedoch mangelt es an der Nutzung der Daten zu einer großräumigen Verbesserung der Trinkwasserversorgung von staatlicher Seite. Lediglich Privatinitiativen und gemeinnützige Organisationen setzen die wassertechnischen Erkenntnisse im Rahmen von Projekten mit Erfolg um. Dies macht jedoch noch einmal deutlich, dass die im BGR-Projekt eingesetzten Techniken zur Wasserversorgung für die Gegebenheiten im Chaco an sich gut geeignet sind, aber in einen dauerhaften Rahmen vor Ort eingebunden sein müssen.

Eine der Hauptherausforderungen liegt nach Dr. Wiens im multikulturellen Umfeld des Chaco. In der Miteinbeziehung des kulturellen Hintergrundes der einzelnen Bevölkerungsgruppen in der Region sieht er ein Hauptkriterium für einen nachhaltigen Projekterfolg.

Generell ist anzumerken, dass die Umweltbedingungen im Chaco für die Errichtung und Sicherung einer ausreichenden Wasserversorgung so schwierig sind, dass es fraglich ist, ob eine funktionierende Wasserversorgung auf Basis der dort vorhandenen Ressourcen überhaupt möglich ist. So besteht aufgrund der geringen Regenmenge von 800 - 900mm/Jahr und einer Evapotranspirationsrate von 1.400mm/Jahr bereits ein natürliches Defizit im Wasserhaushalt von bis zu 600mm/Jahr. Dieses nur mittels traditioneller Wassergewinnungstechniken zu bewältigen, ist kaum möglich. Im Jahr 2006 wurde bereits 40% mehr Wasser verbraucht, als zur Verfügung stehendes und erneuerbares Wasser vorhanden war, worüber hinaus die Wassernachfrage im Chaco jährlich um etwa 7 - 10% steigt. Aus dieser Situation heraus entstand vor Ort die Forderung nach einer zusätzlichen Wasserversorgung von außen über ein Aquädukt-System vom Rio Paraguay, die 2003 im Rahmen der Gründung der „Corporación Agua para el Chaco“, einer Organisation öffentlich-privater Zusammenarbeit, der sowohl die Departments- und Munizipalitäts-Regierungen als auch Siedlerkooperativen und Privatunternehmen angehören, konkretisiert aber bislang nicht umgesetzt wurde (von Hoyer 1998, Junker 1998, Wiens 2006, Wiens 2013).

Nach Meinung der Autorin verfolgte das Projekt in der technischen Zusammenarbeit einen gut durchdachten und erfolgsversprechenden Ansatz der Nachfrageorientierung und aktiven Einbindung und Beteiligung der Bevölkerung. Auch die Erkenntnis der Notwendigkeit einer längerfristigen Nachbetreuung sowie der Versuch, diese zu initialisieren und mit lokalen Behörden zusammenzuarbeiten, war, gemessen an den im Kapitel 3.1 vorgestellten Projektansätzen, seiner Zeit eigentlich sogar ein

Stück voraus. Hier wäre ein Ansetzen auf politischer Ebene wichtig gewesen, um einen funktionierenden Wassersektor aufzubauen, der unter anderem die weitere Unterstützung der Gemeinden gewährleisten könnte. Neben einer fehlenden nachträglichen Erfolgskontrolle oder längerfristiger Begleitung durch die Organisation liegt hier der Hauptkritikpunkt aus Sicht der Autorin. Da es vor dem Hintergrund der besonders schwierigen Wassersituation im Chaco fraglich ist, ob ein Projekt, das lediglich bei der Optimierung vorhandener Wassergewinnungsmöglichkeiten ansetzt, überhaupt zu einem langfristigen Erfolg führen kann, bleibt die Frage, ob zu einer nachhaltigen Verbesserung der Trinkwasserversorgung nicht generell ein Projektansatz mit Schwerpunkt auf politischer Ebene sinnvoller gewesen wäre als auf dem Bereich der technischen Zusammenarbeit.

3.3 Projekt-Beispiel: Ingenieure ohne Grenzen "Solarwasserpumpen und autarkes Licht in Tansania"

Das folgende Kapitel stellt ein kleinräumiges Projekt zur Verbesserung der Wasserversorgung vor, das von der deutschen gemeinnützigen Organisation "Ingenieure ohne Grenzen e.V." in Kitandililo, einer kleinen ländlichen Gemeinde Tansanias durchgeführt wurde. Dabei wurden bestehende Tiefbrunnen mit motorbetriebenem sowie einfachem Schöpf-Pumpensystem auf Solarpumpen umgerüstet. Im Rahmen des Projektes wurden außerdem in der benachbarten Gemeinde Mahongole mehrere autarke LED-Beleuchtungssysteme in einer Schule und der dazugehörigen Mädchenunterkunft installiert. Die folgende Projektbeschreibung behandelt letzteres jedoch nicht näher, sondern befasst sich ausschließlich mit der Installation der Pumpensysteme in Kitandililo. Das Projekt wurde durch den Förderkreis Tansaniahilfe der evangelischen Kirchengemeinde Ismaning initiiert, die dauerhaft mit der Gemeinde in Kontakt steht, wodurch der Erfolg des Projekts gut überprüfbar ist. Bislang funktionieren beide Pumpen, und es wurden keine Ausfälle oder Probleme berichtet.

3.3.1 Örtliche Gegebenheiten und Ausgangssituation

Die Gemeinde Kitandililo besteht aus 16 kleinen Dörfern im Süden Tansanias, ca. 700 km südwestlich von Dar-es-Salaam gelegen. Die Region umfasst eine Fläche von etwa 450m² auf 1.600 bis 1.800m Höhe. Die nächste größere Kreisstadt ist Makambako in 30km Entfernung.

Abb. 72: Lage der Region Kitandililo in Tansania

Die Menschen sind Kleinbauern und leben vom Ertrag ihrer Felder, nur wenige besitzen Schweine, Hühner oder gar Kühe. Es gibt weder eine Wasser- und Stromversorgung noch eine funktionierende Verkehrsverbindung. In den Jahren 1990 - 1993 wurde mit Unterstützung verschiedener deutscher Organisationen eine Krankenstation vor Ort errichtet, da das nächste Krankenhaus in 80km Entfernung liegt. In der Zwischenzeit wurde die Krankenstation mit Hilfe von Spenden und Eigeninitiative immer wieder ausgebaut.

Bestehende Wasserversorgung

Wasser wird in der Region entweder direkt aus dem Fluss (in 3km Entfernung zur Krankenstation) oder über Brunnen mittels Seil-und-Eimer-Schöpfwerken geholt. Um den täglichen Wasserbedarf der Krankenstation von etwa 2m³ decken zu können, und aufgrund der vorrangigen Bedeutung einer sicheren Versorgung mit Wasser guter Qualität gerade für die Versorgung kranker Menschen, wurde dort 2001 ein Brunnen mit Hochtank und motorisierter dieselbetriebener Pumpe installiert, um das Grundwasser aus 28 - 30m Tiefe zu fördern. Außerdem wurde auf dem Dach eine Solaranlage zum Antrieb der Beleuchtung installiert, so dass mit Solartechnologie bereits grundlegende Erfahrung vorhanden ist. Auch erfolgte 1999 der Aufbau einer Solarwerkstatt im nahegelegenen Makambako.

Häufig waren die vorhandenen finanziellen Mittel jedoch so gering, dass kein Treibstoff gekauft und die Pumpe nicht betrieben werden konnte. Da die Techniker vor Ort außerdem Schwierigkeiten mit der Wartung hatten, wurde der Betrieb eingestellt, und der Brunnen stattdessen mit Hilfe eines Seil-und-Eimer-Systems genutzt, was sich aufgrund der Tiefe des Grundwasserspiegels mühsam gestaltete. Ein weiterer Brunnen wurde in der Vergangenheit außerdem an einem Gemeindezentrum errichtet, hier erfolgte die Wasserförderung ebenfalls von Hand mit Seil, Eimer und einer Seilwinde.

Der Bau von Brunnen erfolgte per Hand mit Schaufeln und Eimern bei einem Lochdurchmesser von

80cm.

Abb. 73 zeigt die vorherige Wasserversorgung der Krankenstation: links das Haus mit Generator, in der Mitte der Wassertank mit einem Fassungsvermögen von 2.000L und rechts davon der abgedeckte Brunnen.

Abb. 73: Vorherige Wasserversorgung der Krankenstation

Abb. 74: Seil- und Eimer-Schöpfwerk am zweiten Brunnen

Da es in Tansania eine kleine und eine große Regenzeit gibt, sonst aber sehr homogene Sonneneinstrahlung vorherrscht, ist die Nutzung von Solarenergie zur Stromerzeugung möglich (Tansaniahilfe 2012: Partnerschaft, Tansaniahilfe 2012: Solarwasserpumpen, Wiesenbacher 2011, Wiesenbacher 2013).

3.3.2 Projektbeschreibung

Projektansatz

Das Projekt ist Teil einer langjährigen unterstützenden Zusammenarbeit der evangelischen Kirchengemeinde Ismaning (Deutschland) mit der kirchlichen Gemeinde der Region Kitandililo. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wurden seit 1989 immer wieder unterschiedlichste Projekte auf den Weg gebracht, die sich vornehmlich am Bedarf der tansanischen Gemeinde orientieren. Durch den dauerhaften Kontakt und die daraus resultierenden guten Kenntnisse der jeweiligen Lebensumstände können Projekte dann geplant und umgesetzt werden, wenn Bedarf und Nachfrage wirklich vorhanden sind, und die Gemeinde sie bewältigen kann und einen dauerhaften Nutzen daraus zieht.

Aktuell zielte das hier vorgestellte Projekt auf die Um- bzw. Aufrüstung bestehender Wasserfördersysteme auf emissionsfreie, fremdenergieautarke Systeme mit größerer hygienischer Sicherheit und geringerer körperlicher Belastung der Nutzer. Wichtig ist dabei der Einsatz einer umweltschonenden Technologie, mit der vor Ort bereits Erfahrungen bestehen, und die ohne Entstehung von Betriebskosten unter den gegebenen Umständen (hohe, homogene Sonneneinstrahlung, dauerhafter Kontakt zur unterstützenden Organisation, ausgebildete Fachkräfte in der nahe gelegenen Kreisstadt Makambako) eingesetzt werden kann.

Ein Schwerpunkt lag auch hier auf der aktiven Beteiligung der Gemeinde. Generell werden die Projekte gemeinsam geplant, und nach Prüfung der Voraussetzungen in Kilandililo geeignete Personen für die Durchführung gesucht und ggfls. Fortbildungsmaßnahmen für diese finanziert. Die Gemeinde erstellt Kostenvoranschläge, die von deutscher Seite auf Vollständigkeit geprüft werden, die sich dann um das Sammeln von Spenden kümmert. Bei der Umsetzung des Projekts beteiligt sich die Gemeinde mittels lokaler Materialien und Arbeitsleistung. Beim aktuellen Projekt wurde das Problem von der Gemeinde formuliert und gemeinsam nach Lösungsansätzen gesucht. Die Idee der Umrüs-

tung auf Solarpumpen entstand bereits 2009, die Finanzierung über Spenden nahm jedoch einen größeren Zeitrum in Anspruch. Von Seiten der Tansaniahilfe Ismaning wurde die Finanzierung und über den Kontakt mit Ingenieure ohne Grenzen e.V. die Fachleute zur Installation und Ausbildung vor Ort gestellt, die tansanische Gemeinde brachte unterstützende Arbeitsleistung und lokale Materialien ein (Tansaniahilfe 2012: Partnerschaft, Tansaniahilfe 2012: Solarwasserpumpen, Wiesenbacher 2011).

Pumpensystem

Da die 2001 installierte dieselbetriebene Pumpe aufgrund der Betriebskosten und Wartungsprobleme nicht langfristig genutzt werden konnte, und die alternativen Eimer-und-Seil-Schöpfwerke ein nicht unerhebliches Kontaminationsrisiko bergen und aufgrund der Tiefe des Grundwasserspiegels nur mühsam betrieben werden können, wurde nach einer geeigneten, nachhaltigen Lösung für einen dauerhaften Pumpbetrieb gesucht.

Das gewählte Pumpensystem war die Solarpumpe PS200 HR der Firma Lorentz. Der zugrunde liegende Pumpentyp ist eine gleichstrombetriebene Exzenterschneckenpumpe. Das Pumpensystem besteht dabei aus einer Pumpe, einem Elektromotor und einer Steuerungselektronik. Im Gegensatz zu Kreiselpumpen liegen hier alle elektronischen Teile oberirdisch, was die Zugänglichkeit und somit Reparatur und Wartung erleichtert. Solarmodule werden über die Regelelektronik direkt an die Pumpe angeschlossen.

Die Wahl der Pumpe erfolgte durch Ingenieure ohne Grenzen e.V.. Diese verfügten bereits über positive Erfahrungen im Einsatz von Pumpen der Firma Lorentz in einem anderen Projekt sowie mit der persönlichen Einstellung von Herrn Lorentz. Der Pumpentyp selbst wurde anhand von Brunnentiefe und maximaler täglicher Fördermenge in einer entsprechenden Lorentz-Dimensionierungstabelle ausgewählt.

Da die Sonne in Äquatornähe ja nur etwa 12 h/Tag scheint, wurde außerdem für jede Pumpe ein Vorratstank zur Wasserspeicherung benötigt. Der tägliche Wasserbedarf wurde dafür anhand von Gesprächen mit den Technikern vor Ort und mittels Fragebögen ermittelt. Je Pumpe fassen die Kunststofftanks 2.000L.

Ein wichtiger Punkt ist, dass durch eine entsprechende Dimensionierung auf die Fördermenge Einfluss genommen werden kann, da ein Grundsatz des Projektes war, dass nicht beliebig viel Wasser gefördert werden sollte, um negative Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel zu vermeiden. Die Pumpe ist daher mit einem Schwimmer und einem Regler ausgestattet, an dem sie auf eine maximale Förderrate bei maximaler Einstrahlung eingestellt wird, die der Entnahme mit Eimern und Seilwinde entspricht. Zudem wird die Pumpe abgeschaltet, wenn der Tank voll ist, d.h. die maximale Wassermenge im Projekt ist pro Tag eine Tankfüllung von ca. 2.000L. Sinkt der Grundwasserspiegel zu sehr ab, schaltet sich die Pumpe ebenfalls ab. Welche Mengen tatsächlich entnommen werden, versuchen Ingenieure ohne Grenzen e.V. durch Telefonate, Besuche und Fragebögen zu erörtern und orientieren sich dabei letztlich an den Aussagen der Nutzer. Diese gaben eine tägliche Entnahmemenge von 2.000L pro Brunnen an. Ein Mengenmesser wurde nicht installiert.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der möglichst geringe Wartungsanspruch des Pumpensystems. Die Pumpe besteht aus vier Komponenten und ist weitgehend verschleißfrei. Sie ist einfachst aufgebaut und kann von den Technikern vor Ort bereits mit einem Inbusschlüssel geöffnet werden.

Aus Sicht der Tansaniahilfe Ismaning, die sich um die Finanzierung mittels Spenden kümmerte, war es von Vorteil, ein zwar in der Anschaffung mit allem Zubehör verhältnismäßig teures aber technisch klares System zu installieren, bei dem dafür so gut wie keine Betriebs- und Wartungskosten anfallen (Lorentz 2013, Tansaniahilfe 2012: Solarwasserpumpen, Wiesenbacher 2013).

Projektdurchführung

Die Projektplanung erfolgte in Zusammenarbeit von Tansaniahilfe Ismaning, Ingenieure ohne Grenzen e.V. und der Gemeinde Kitandililo. Ein Mitglied von Ingenieure ohne Grenzen e.V. besuchte bereits 2010 im Rahmen der Planung das Projektgebiet. Die zwei Pumpen der Firma Lorentz wurden in Arusha im Norden Tanzanias bestellt und kamen Anfang 2011 im Dorf an.

Der Installation der Pumpen gingen manuelle Untersuchungen zum dortigen Grundwasservorkommen voraus, um eine Übernutzung der Ressource zu vermeiden. Dafür schöpften die dorfeigenen Techniker den Brunnen vollständig ab und ermittelten Zeit und Menge des nachlaufenden Wassers. Laut Aussage der lokalen Techniker können je Brunnen täglich 5.000 - 6.000L Wasser entnommen werden.

Die Solarpumpensysteme wurden im Oktober 2011 von Florian Wiesenbacher und Matthias Germeroth von Ingenieure ohne Grenzen e.V. sowie Florian Knaus aus München in Kitandililo installiert. Dabei wurde der ursprünglich mit einer motorbetriebenen Pumpe versehene, bestehende Brunnen an der örtlichen Krankenstation mit einer Solarpumpe ausgerüstet, sowie ein weiterer Brunnen in etwa 1km Entfernung an einem zentralen Platz ebenfalls mit einer Solarpumpe ausgestattet. Dieser Brunnen sichert die Wasserversorgung des Gemeindezentrums, das aus Kindergarten, Küche, zwei Handwerksbetrieben sowie vier Wohnhäusern besteht. Insgesamt dienen die Brunnen der Trinkwasserversorgung von etwa 400 Menschen und sollen außerdem für die Bewässerung einer geplanten Baumschule genutzt werden. Zur Überbrückung von Zeiten geringer Sonneneinstrahlung werden oben genannte Hochbehälter genutzt.

Zuerst wurde die Pumpe an der Krankenstation installiert, da hier bereits der Hochbehälter und verlegte Rohre vorhanden waren. Gemeinsam mit den Technikern des Dorfes sowie weiteren Gemeindemitgliedern wurden Lösungen erörtert, um die neue Pumpe am Gestell der vorherigen Pumpe zu befestigen. Mittels lokaler Materialien wurde eine Halterung angefertigt, mit der die Pumpe in den Brunnen eingepasst werden konnte (siehe Abb. 75).

Abb. 75: Halterung der Pumpe aus lokal verfügbaren Materialien

Die Solarpanele wurden auf dem Dach des Generatorhauses befestigt. Die Unterkonstruktion wurde ebenfalls aus lokalen Materialien gefertigt. Um Diebstahl zu verhindern, wurde die Solaranlage so zusammengebaut, dass man die Paneele erst vollständig vom Dach abmontieren muss, um die Konstruktion abzubauen.

Die Installation der zweiten Pumpe erfolgte an einem bis dahin mit einem Seil-und-Eimer-System betriebenen Brunnen (siehe Abb. 78).

Hier fiel der Entschluss, die Pumpenvorrichtung anders aufzubauen als bei der ersten Pumpe, um der lokalen Bevölkerung eine kurzfristige Ausweichmöglichkeit zu bieten, falls Probleme mit der ersten

Konstruktion auftreten sollten. Dafür wurde die Pumpe in einem PVC-Rohr eingepasst und gegen Verdrehung gesichert und mittels am Rohr befestigter, biegbarer Winkel in den Brunnen eingesetzt (siehe Abb. 76 und 77).

Abb. 76 und 77: Ummantelung und Befestigung der zweiten Solarpumpe

Zusätzlich wurde eine Unterkonstruktion für den Vorratstank gemauert, und Rohre von der Pumpe zum Tank und von diesem zu einem Wasserhahn verlegt sowie die Solarpanele auf dem Dach eines nahe gelegenen Hauses angebracht (Knaus 2011, Tansaniahilfe 2012: Partnerschaft, Tansaniahilfe 2012: Solarwasserpumpen, Wiesenbacher 2011, Wiesenbacher 2013).

Abb. 78: Inspektion des Brunnens am Gemeindezentrum

Abb. 79: Bau der Unterkonstruktion durch Gemeindemitglieder

Abb. 80: Fertigstellung des Pumpensystems

Partizipatives Prinzip und eingebrachte Leistungen

Neben der Beteiligung der Gemeinde bei der Planung sowie vorherigen Untersuchungen, erfolgte auch die Installation in Zusammenarbeit mit den Menschen vor Ort. Diese unterstützten das Projektteam sowohl mit ihrer Arbeitskraft als auch bei der Beschaffung von Arbeitsmaterialien und der Entwicklung von Lösungen für auftauchende Herausforderungen. Zwei örtliche Techniker verfolgten interessiert jeden Handgriff und wurden mit der Technik vertraut gemacht, so dass sie nach der Abreise des Projektteams die Wartung selbst übernehmen können.

Ingenieure ohne Grenzen e.V. hielt im Anschluss zum Aufenthalt außerdem eine ausgedehnte Schulung ab. Vor Ort gibt es drei verantwortliche Techniker, die der Organisation jährlich Fragebögen zu den Pumpen beantworten. Im Februar oder März 2013 wird der örtliche Pumpenhändler eine weitere Technikschulung in Kitandililo abhalten.

Ziel war es, die Techniker vor Ort mit der Technik vertraut zu machen und sie fortzubilden, damit sie ohne weitere Hilfe von außen weitere Systeme eigenständig planen und aufbauen können (Wiesenbacher 2011, Wiesenbacher 2013).

Weiterführende Unterstützung

Eine weitergehende Begleitung des Projekts wird weiterhin durch die Tansaniahilfe Ismaning gewährleistet. Diese steht ständig in Kontakt mit den Partnern, so dass qualifizierte Hilfestellung gegeben werden kann, wenn vor Ort Probleme auftauchen. Auch sind Ingenieure ohne Grenzen e.V. weiterhin mit der Gemeinde in Kontakt und führen über jährliche Fragebögen eine Erfolgskontrolle durch. Außerdem existiert ein lokaler Pumpenhändler, und in der ca. 30 Km entfernten Kreisstadt Makambako gibt es mit Solaranlagen erfahrene Handwerker. Für die nähere Zukunft ist die Installation weiterer Solarpumpen geplant sowie Techniken zur Regenwassersammlung (Tansaniahilfe 2012: Partnerschaft, Tansaniahilfe 2012: Solarwasserpumpen, Wiesenbacher 2011, Wiesenbacher 2013).

3.3.3 Beurteilung der Nachhaltigkeit des Projekts

Die Installation der Pumpen in Tansania erfolgte im Oktober 2011. Bislang funktionieren die Pumpen ohne Ausfälle oder Probleme. Aus Sicht der Autorin ist hier auch mit einem nachhaltigen Projekterfolg zu rechnen.

Neben dem nachfrageorientierten Ansatz und der aktiven Einbindung der Bevölkerung in Entscheidungen und Umsetzungsmaßnahmen liegt ein großer Vorteil dieses Projektes in der dauerhaften Unterstützung durch die evangelische Kirchengemeinde Ismaning sowie den längerfristigen Kontakt zu Ingenieure ohne Grenzen e.V. und der damit verbundenen Erfolgskontrolle. Dadurch dass die unterstützende Zusammenarbeit durch den Förderkreis Tansaniahilfe zeitlich nicht begrenzt ist, und persönliche Verbindungen zu den Menschen sowie gute Kenntnisse der Gegebenheiten vor Ort bestehen, können gemeinsame Lernprozesse durchlaufen werden sowie längerfristig geplant und auf Misserfolge reagiert werden. So erwies sich z.B. die frühere Installation der dieselbetriebenen Pumpe als nicht nachhaltig erfolgreich, worauf letztlich mit der Installation der Solarpumpen reagiert wurde. Von Vorteil sind auch bereits vorhandene Erfahrungen mit der Solartechnik innerhalb der Region sowie der Kontakt zu einem örtlichen Pumpenhändler. Durch die aktive Einbindung der örtlichen Techniker in die Pumpeninstallation sowie Schulungen wurden außerdem die Voraussetzungen geschaffen, um eine eigenständige Planung und Installation von Solarpumpen zu ermöglichen.

Nach Kapitel 2.2.3 und 3.1 ist eine Umrüstung von einfachen handbetriebenen Schöpfpumpen auf solarbetriebene, höher technisierte Pumpen oftmals kritisch zu sehen und für viele Gemeinden nicht zu empfehlen, wenn diese z.B. sehr abgelegen liegen und nicht in regionale Programme eingebunden sind oder irgendeine Art externer Unterstützung erhalten, da hier oftmals nur für einfachste Pumpensysteme eine dauerhafte Unterhaltung durch die Gemeinde möglich ist. Auch kann es bei der Aufrüstung z.B. von handbetriebenen Kolbenpumpen durch einen Solarantrieb zu einer Erhöhung der Fördermenge und so je nach örtlichen Gegebenheiten zu einer Übernutzung der Grundwasserressourcen kommen.

Aufgrund der besonderen Rahmenbedingungen durch die dauerhafte externe Unterstützung erscheint eine Umrüstung auf Solarpumpen beim beschriebenen Projekt sinnvoll und angebracht, da so die Möglichkeit besteht, bei Fragen und Unklarheiten externen Rat zu suchen und selbst im Falle einer größeren Reparatur oder eines benötigten Ersatzteils nicht ganz auf sich allein gestellt zu sein. Darüber hinaus besitzt das beschriebene Pumpensystem eine Regelungsmöglichkeit bzgl. der Fördermenge, so dass einer Übernutzung vorgebeugt werden kann. Kritisch zu sehen ist an dieser Stelle die Art der Untersuchung des Grundwasservorkommens. Von Vorteil wäre hier ein fachmännisches hydrologisches Gutachten gewesen, welches jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden wäre, die im Rahmen des Projekts wahrscheinlich nicht aufgebracht werden konnten. Vor diesem Hintergrund ist die vorgenommene Untersuchung in jedem Fall ein richtiger Schritt, jedoch sollten derartige Untersuchungen in Abständen über einen längeren Zeitraum unter Berücksichtigung verschiedener Jahreszeiten und Witterungen durchgeführt werden, um ein verlässliches Ergebnis zu erzielen. Zu kritisieren ist an dieser Stelle auch, dass kein Entnahmemengenmesser installiert wurde, um die tatsächliche Entnahmemenge überprüfen und so eine nachhaltige Nutzung der Ressource besser sichern zu können.

Die Pumpe an sich verspricht aufgrund ihrer zukunftsweisenden Technologie und ihres wartungs- und verschleißteilarmen, emissionsfreien Betriebs ohne laufende Betriebskosten nachhaltig einsetzbar zu sein. Auch ist eine Exzenterschneckenpumpe eine gute Lösung für die Wasserförderung aus einer Tiefe von 30m. Die Förderung mittels Seil-und-Eimer-Schöpfwerks aus dieser Tiefe ist körperlich sehr mühsam, was ein weiteres Argument für eine Umrüstung auf ein fortschrittlicheres System darstellt. Generell besteht bei höher technisierten Pumpensystemen eine größere Gefahr eines Schadens, der eine größere oder speziellere Reparatur erfordert (z.B. Motorschaden) als bei einem einfa-

chen Handpumpensystem. Hier wäre evtl. die Erhebung einer Wassergebühr sinnvoll gewesen, um Rücklagen für den Fall einer benötigten Reparatur zu schaffen.

Generell bleibt anzumerken, dass es sich bei dem beschriebenen Projekt um ein sehr kleinräumiges Einzelprojekt handelt, das einer relativ begrenzten Anzahl von Menschen zugute kommt. Für diese bedeutet es zwar eine direkte Verbesserung ihrer Lebensbedingungen, aus einem ganzheitlicheren Blickwinkel heraus sind allerdings landesweite Verbesserungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen von Länderprogrammen und der großräumigen Weiterentwicklung des Wassersektors anzustreben. Programme, die sowohl auf politischer Ebene ansetzen als auch bei der technischen Umsetzung vor Ort, weisen somit den größten Wirkungsgrad auf. Gerade Tansania hat in den letzten Jahren umfassende Neuerungen in der Wasserpolitik vorgenommen wie z.B. die Nationale Entwicklungsstrategie (2006) und die neuen Wassergesetze (2009) und wird bei deren Umsetzung unter anderem von Organisationen wie der GIZ unterstützt. Auf dieser Ebene können vergleichsweise kleine Organisationen wie die Tansaniahilfe Ismaning oder Ingenieure ohne Grenzen e.V. natürlich nicht ansetzen, jedoch wäre auch hier – wenn möglich – eine Zusammenarbeit mit lokalen Wasserbehörden oder anderen Organisationen der Entwicklungszusammenarbeit, die zusätzlich auf übergeordneten Ebenen ansetzen, sowie eine Orientierung an nationalen Länderprogrammen von Vorteil für z.B. Aufbau und Festigung von Liefer- und Supportstrukturen, großräumigeren Erfahrungsaustausch und die Vernetzung von Technologien.

3.4 Studie zur langfristigen Nachhaltigkeit von Wasserprojekten in Nepal

Ein Schwachpunkt vieler in der Vergangenheit durchgeführter Projekte liegt in der einmaligen Implementierung eines Pumpensystems in einer Gemeinde, ohne nach Abschluss des Projekts eine Überwachung oder Evaluierung bzgl. dessen Nachhaltigkeit durchzuführen.

Die Organisation NEWAH – Nepal Water for Health, ist eine NGO, die auf nationaler Ebene seit 1992 in Nepal tätig ist, und im Rahmen zahlreicher Projekte für eine Verbesserung der Trinkwasserversorgung sowie im Bereich Sanitärkonzepte und Hygieneschulungen arbeitet. Dabei arbeitet NEWAH meist zusammen mit anderen Organisationen und verbindet den Infrastrukturausbau mit der Verbreitung von Informationen zur häuslichen Hygiene und Gesundheitspflege sowie alternativen Einkommensquellen. Im Jahr 2001 hatte NEWAH bereits über 400 Einzelprojekte abgeschlossen. Zwar ging die Organisation von der Nachhaltigkeit ihrer Projekte aus, entschied sich jedoch, eine überprüfende Studie zur Sicherstellung des nachhaltigen Projekterfolgs durchzuführen.

Gemeinsam mit WaterAid Nepal wurde von 2001 bis 2005 eine „Long Term Sustainability Study“ (LTSS) durchgeführt, die alle Projekte, die vor 1998 abgeschlossen wurden, untersuchte. Anhand der Ergebnisse wurde neben direkten Verbesserungsmaßnahmen 2007 von WaterAid ein Monitoring-Modell zur Überwachung der langfristigen Nachhaltigkeit entwickelt und als Bestandteil des organisatorischen Monitoringsystems in eigenen und Partner-Projekten eingeführt.

Die Ergebnisse der Studie sollen nachfolgend vorgestellt werden (Adhikari 2010, NEWAH 2006, NEWAH 2011).

3.4.1 Rahmenbedingungen der Studie

Projektgebiet

In ganz Nepal wurden 298 Projekte untersucht, die insgesamt 6.278 Wasserstellen umfassten. 228 Projekte mit insgesamt 2.399 Wasserstellen lagen in hügeligen und gebirgigen Regionen und 70 Projekte mit insgesamt 3.879 Wasserstellen in der (Tarai-)Ebene. Da in den Projekten der gebirgigen Regionen („Hill-Projects“) die Wasserversorgung nicht mittels Pumpen, sondern über Quell- und Oberflächenwasser und dessen Verteilung mittels Rohrleitungen durchgeführt wurde, beschränkt sich die vorliegende Arbeit lediglich auf die Vorstellung der Ergebnisse aus den Projekten in der Ebene

(„Tarai-Projects“). In den Tarai-Projekten wurden meist in direkter Nähe zu Ansammlungen mehrerer Häuser flache Bohrlochbrunnen installiert und mit Handpumpen versehen. Zu Projektbeginn wurden alle Bohrlöcher mit Vakuumkolbenpumpen des Typs „Nepal No. 6“ ausgestattet, bis zur Evaluierung waren 124 Pumpen (3%) durch lokale Wasserpumpen ersetzt worden. Bei 3.816 Brunnen handelte es sich um flache Bohrbrunnen, bei 45 um mit Hand ausgeschachtete Brunnen und bei 18 um Tiefbohrbrunnen.

Die Projekte, die im Rahmen der Studie untersucht wurden, waren zwischen 1987 und 1998 durchgeführt worden (68% der Projekte zwischen 1994 und 1998). Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren manche Projekte bereits 15 Jahre alt, andere lediglich 4 Jahre.

Die Studie umfasste in Teilen auch den Sanitär-Bereich. Die Ergebnisse hierzu sind jedoch ebenfalls nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Ziele der Studie

Die Hauptziele der Studie waren folgende:

- Überprüfung des Status der von NEWAH unterstützten, integrierten Wasser-, Sanitär- und Gesundheitsprojekte

- Sanierung der Schwachpunkte und Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse zur Verbesserung zukünftiger Projekte

Methodik

Teams aus zwei Personen (NEWAH-Mitglieder und externe Hilfskräfte) besuchten jedes Projekt und erhoben neben den Basisdaten dort Daten auf der Grundlage von Interviews, Dorfbegehungen, Gemeindeversammlungen, Beobachtungen vor Ort und Gruppendiskussionen zu verschiedenen Schwerpunkten. Die Wasserstellen wurden photographisch festgehalten und in vielen Gemeinden Untersuchungen der Wasserqualität sowie eine GPS-gestützte Standortbestimmung durchgeführt (NEWAH 2006).

3.4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse beziehen sich zum einen auf die Pumpen-Systeme direkt, zum anderen auf Strukturen innerhalb der Gemeinde zur Unterhaltung der Pumpensysteme sowie die Auswirkung der Projekte auf die Bevölkerung.

3.4.2.1 Pumpen-Systeme

Funktionalität

Von den aufgesuchten 3.879 Pumpen funktionierten 21,9% mit gleicher Kapazität wie zum Zeitpunkt der Installation, 55,7% funktionierten, benötigten aber technische Hilfe und 22,4% funktionierten nicht mehr. Der Status neuerer Projekte war dabei besser als der älterer. Der Anteil von noch voll funktionierenden Pumpen lag in Tarai-Projekten, die nach 1995 abgeschlossen wurden höher (28%) als bei älteren Projekten (19%).

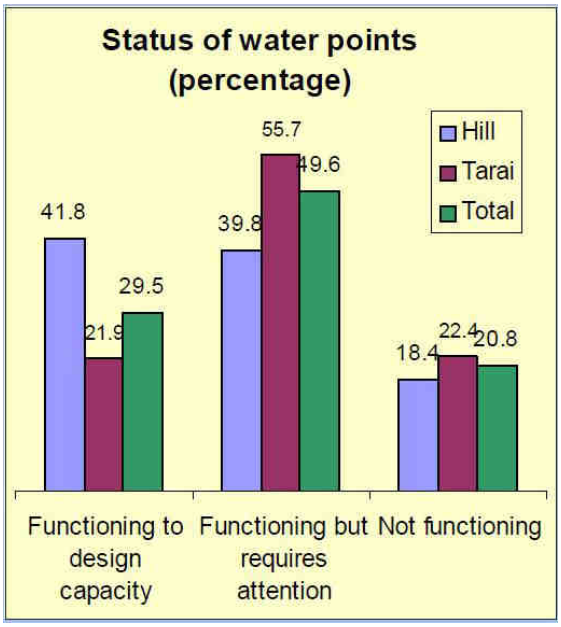


Abb. 81: Zustand der Wasserstellen

Art der aufgetretenen Probleme

63% der Pumpen, die Wartungsmaßnahmen benötigten, hatten Probleme aufgrund fehlender Muttern, Bolzen oder Anschlussstifte. Bei etwa der Hälfte der Pumpen waren die Pumpplattformen beschädigt. Andere häufig auftretende Probleme

waren Schäden von Pumpenkopf, Pumpendeckel, Bodenplatte, Schwengel, Dichtungen oder der Kolbenstange.

Bei den nicht mehr funktionierenden Pumpen lagen die Hauptgründe in kaputten Dichtungen, fehlenden Ersatzteilen, Entwässerungsproblemen, Beschädigung der Steigleitung und schlechter Wasserqualität. Weitere Gründe lagen in Streitigkeiten zwischen den Nutzern, zu niedrigem Grundwasserspiegel, der Beschädigung von Filtern, dem generellen Fehlen von Instandhaltungsmaßnahmen sowie Naturereignissen.

Probleme bei der Instandhaltung

Als größte Probleme bei der Instandhaltung gaben die Nutzer die Nicht-Erhältlichkeit von Ersatzteilen am lokalen Markt sowie finanzielle Probleme an. Nachträglich zusätzlich installierte Pumpen für private Haushalte führten außerdem zu geringerer Beachtung und Wartung der vorher installierten gemeinschaftlichen Wasserstellen.

Abb. 82: Begutachtung einer funktionierenden Pumpe

Abb. 83: nicht mehr funktionierende Pumpe im Sapatari Distrikt. Die Pumpe wurde 1999 installiert.

Reaktionen auf die Ergebnisse

Um Kontaminationen des Wassers besser zu verhindern, rief das „Eastern Region Office“ von NEWAH ein privates „Tube well Improvement Programme“ ins Leben, das mittels Versiegelung der Bohrlöcher und deren Ummantelung mit einer Betonplattform das Durchsickern von Wasser über Lecks verhindern soll.

Weiter wurden Informations-Workshops veranstaltet, um die Nutzer und lokale Anbieter von Ersatzteilen zu vernetzen. Außerdem wurden Poster und Broschüren in lokalen Sprachen erstellt und ver-

teilt, die Informationen über die Wichtigkeit von Wartungsmaßnahmen und die Erhältlichkeit von Ersatzteilen enthalten.

3.4.2.2 Management auf Gemeindeebene

Eine Schlüsselrolle bei der Unterhaltung der Pumpensysteme durch die Gemeinde spielt das dorfeigene Wasserkomitee („Water and Sanitation Users Committee“ – WSUC).

Wasserkomitees

Wasserkomitees werden normalerweise bereits mit Beginn des jeweiligen Projekts aufgebaut und bestehen aus 9 - 13 Mitgliedern. Dabei erhalten die Mitglieder Schulungen, wie Projekt und Wartung durchzuführen sind, und wie die Nachhaltigkeit des Projekts sichergestellt werden kann.

Effektivität der Wasserkomitees vor Ort

In 79% der Tarai-Projekte wurden Wasserkomitees innerhalb der Gemeinden aufgebaut. Als Indikator für die Aktivität der jeweiligen Komitees wurde die Häufigkeit und Regelmäßigkeit ihrer Versammlungen herangezogen. Während in den Hill-Projekten zumindest 5% der Komitees monatliche Treffen abhielten und 40% sich in den vorangegangenen 12 Monaten einmal getroffen hatten, waren die restlichen 55% sowie die Komitees weitgehend aller Tarai-Projekte inaktiv. In den Tarai-Projekten waren zusätzlich zu den WSUC-Komitees für jede Wasserstelle Wasser-Nutzer-Komitees etabliert worden. Bei einem Viertel der Wasserstellen waren diese Komitees noch aktiv.

Während in den Bergen ein Teil der Wasserkomitees auch begonnen hatte, weitere Projekte wie den bau von Schulen oder Straßen zu initiieren, fanden sich in den Tarai-Projekten lediglich zwei Komitees, die zusätzliche Aufgaben übernommen hatten.

Insgesamt fand sich ein höherer Anteil funktionierender Pumpen in Gemeinden mit funktionierenden Wasserkomitees als in solchen, in denen die Komitees inaktiv waren (36% vs. 22%). Allerdings wurden nur in 4 der 70 Tarai-Projekte aktive Wasserkomitees vorgefunden, so dass dieses Verhältnis nur als bedingt aussagekräftig gewertet werden kann.

Reaktionen auf die Ergebnisse

Als Antwort auf die Ergebnisse initiierten NEWAH und WaterAid Nepal den Aufbau eines Wassernutzergruppen-Netzwerks als Forum zum Austausch bzgl. Trinkwasser und Sanitärbereich.

Darüber hinaus wurden im Rahmen der Sanierungs-Projekte, die im Anschluss an die Studie durchgeführt wurden, Auffrischungs-Schulungen für die Wasserkomitees angeboten, die in erster Linie die Themen Management und Institutionalisierung behandelten. Ein Ziel war es hierbei auch, Frauen und arme Bevölkerungsschichten stärker in die Komitees einzubinden, da die Studie ergab, dass diese in den Komitees unterrepräsentiert waren. Bei den Projekten, die 2004/2005 durchgeführt wurden, lag der Frauenanteil in den Wasserkomitees dann bereits bei 46%, die Zielsetzung ist 50%.

Abb. 84: Fortbildung eines Wasserkomitees

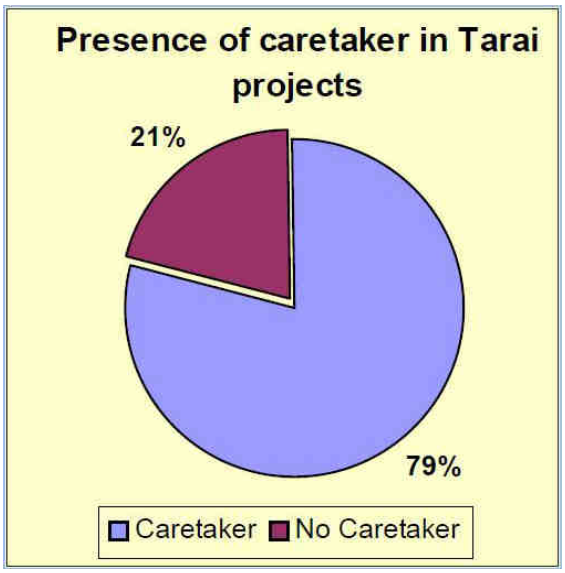


Abb. 85: Existenz eines Pumpenbeauftragten

3.4.2.3 Wartung und Unterhaltung

Zwei für die dauerhafte Instandhaltung einer Pumpe wichtige Aspekte sind das Einsetzen einer für die Pumpe verantwortlichen Person sowie die Erhebung von Wassergebühren zur Finanzierung von Reparaturen im Bedarfsfall.

Pumpenbeauftragter

Bei Einführung eines Projekts wird für jede Wasserstelle eine für die Pumpe zuständige Person ausgebildet. Diese ist verantwortlich für Betrieb und Wartung, und ihre Rolle ist von grundlegender Wichtigkeit für die Sicherung der Nachhaltigkeit des Systems.

Die Studie fand 80% der Pumpen unter der Aufsicht einer zuständigen Person vor, von denen 66% die ursprünglich von NEWAH ausgebildeten Personen waren. Für eine effektive Betreuung der Pumpe ist es wichtig, dass der Pumpenbeauftragte dauerhaft in der Gemeinde bleibt und diese nicht zeitweise verlässt, um z.B. über einen längeren Zeitraum woanders zu arbeiten. In allen Tarai-Projekten waren die zuständigen Personen auch dauerhaft vor Ort.

Um den Einfluss eines Pumpenbeauftragten auf die Nachhaltigkeit einer Pumpe abschätzen zu können, wurde der Status der Projekte mit und ohne zuständige Person analysiert und verglichen. Dabei zeigte sich, dass 17% der Pumpen, die unter der Aufsicht einer zuständigen Person standen, und 41% der Pumpen ohne Pumpenbeauftragten nicht mehr funktionierten. In allen Projekten erwies sich der Zustand der Pumpen als besser, wenn eine zuständige Person existierte.

Reaktionen auf die Ergebnisse

Im Rahmen der Sanierungs-Projekte, die im Anschluss an die Studie durchgeführt wurden, wurden auch für die Pumpenbeauftragten Auffrischungs-Schulungen angeboten. Dabei lag ein Fokus auf verstärkten Ausbildungsmöglichkeiten für Frauen als Pumpenbeauftragte oder Mauererin, da dies den Frauen eine Möglichkeit bezahlter Arbeit bietet. Die Wahrscheinlichkeit, dauerhaft in der Gemeinde zu verbleiben, ist bei verheirateten Frauen am höchsten, da unverheiratete Frauen häufig nach ihrer Hochzeit wegziehen, und Männer oft auf dem Markt in der nächstgrößeren Stadt arbeiten oder das Land verlassen, um in Indien Arbeit zu suchen.

Finanzierung

Mit Einführung der Projekte wurden in den Gemeinden finanzielle Rücklagen für die Unterhaltung der Pumpe gebildet. Diese gingen nach Projektabschluss in die Verantwortung der Wasserkomitees über. Die Geldanlage ist für die nachhaltige Unterhaltung wichtig, um sicherzustellen, dass die Gemeinde über finanzielle Ressourcen verfügt, um anfallende Reparaturen zahlen zu können. Nach den Untersuchungen der Studie befanden sich die Rücklagen bei 40% der Projekte auf einem Bankkonto, in 10% der Fälle im Besitz des Wasserkomitees, bei 4% der Projekte waren sie investiert worden, und bei 33% der Projekte wussten die Gemeindemitglieder nicht, wo das Geld verblieben war. Ebenso war die Höhe der Rücklagen bei 67% der Projekte den Nutzern nicht bekannt, was fehlende Transparenz deutlich macht.

Eine regelmäßige Einsammlung von Wassergebühren fand lediglich bei 0,2% der Projekte statt, eine Zahlung von Gebühren nach / bei Verbrauch erfolgte bei 75% der Projekte, bei 20% wurden keine Gebühren gezahlt.

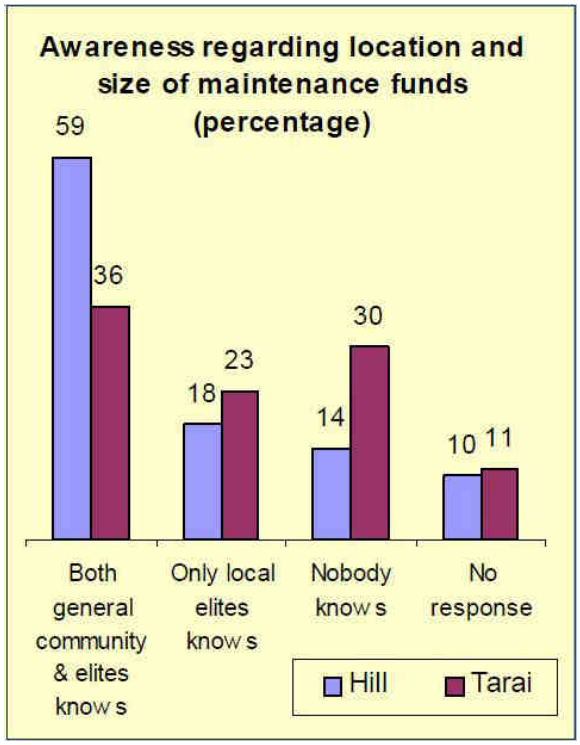


Abb. 86: Wissen der Nutzer bzgl. Ort und Höhe der finanziellen Rücklagen

Reaktionen auf die Ergebnisse

Im Anschluss an die Studie wurden in allen Projektgebieten Informationstafeln angebracht, die Informationen zu dem jeweiligen Projekt enthielten einschließlich finanzieller Informationen wie den Gesamtkosten des Projekts sowie der finanziellen Beteiligung der Gemeinde daran. Dies soll die Transparenz der Projekte unter Nutzern und Beteiligten erhöhen, und die öffentliche Kontrolle fördern.

Außerdem wurde ein „Saving & Credit-Programm“ für die effektive Nutzung von Betriebs- und Wartungsrücklagen gestartet. Die Evaluierung der Pilotprojekte ergab positive Auswirkungen bzgl. der Mobilisierung dieser Rücklagen für verschiedene Aktivitäten.

3.4.2.3 Auswirkungen der Projekte

Begleitend zur Studie wurden auch Informationen bzgl. der Auswirkungen der Projekte auf die Bevölkerung vor Ort aufgenommen.

Diese sind nachfolgend aufgelistet:

positiv	**negativ**
Zugang zu sicherem / sauberem Wasser	Fehlende Ersatzteile
Verbesserte/s Hygienepraktiken / -wissen	Konflikte wegen der Geldanlage
Verbesserte sanitäre Einrichtungen und saubere-re Umwelt	Hoher Eisengehalt im Wasser
Besserer Zusammenhalt in der Gemeinde	Verschmutzung durch schlechte Entwässerung

3.4.3 Fazit und Zusammenfassung

Die dreieinhalb Jahre dauernde, intensive Studie führte für NEWAH zu vielen wichtigen Erkenntnissen. So zeigte sich, dass der sich an den Hill-Projekten orientierende Ansatz des gemeindebasierten Projektmanagements mit großem Projektgebiet, einem einzelnen Wasserkomitee, einer zentralen finanziellen Rücklage und regelmäßigen Wassergebühren unter den Bedingungen der Tarai-Projekte vielerorts nicht zu einem nachhaltigen Erfolg führte. Dies bedeutet für NEWAH, dass hier zukünftig neue innovative Ansätze ausprobiert werden müssen. Generell wurde deutlich, dass über einen größeren Zeitraum viele Unwägbarkeiten auftreten können, die die Gemeinden nicht alleine bewältigen können. In der großen Mehrheit der Fälle gab es diesbezüglich keine Unterstützung von Seiten der Regierung. Diese besagt in einem Gesetzesentwurf auch klar, dass die Rehabilitation von Pumpensystemen in der Verantwortung der jeweiligen Projektorganisation liegt. Um eine dauerhafte, nachhaltige Nutzbarkeit der Wasserversorgungssysteme zu gewährleisten, wird irgendeine Form der Unterstützung benötigt. Studien zur langfristigen Nachhaltigkeit und nachfolgende Unterstützungsprogramme sind ein kosteneffizienter Weg, diese Unterstützung zu bereitzustellen.

Reaktionen auf die Ergebnisse

Als Antwort auf die Ergebnisse der Studie wurde ein Programm für schwache Projekte, die in der Untersuchung schlecht abgeschnitten hatten, ins Leben gerufen. Dafür wird jedes Jahr eine kleine Anzahl von Projekten anhand einer Prioritätenliste ausgewählt. Der Ansatz basiert auf der partizipatorischen Lösung von Problemen mit oberster Priorität auf der Stärkung der Gemeindeinstitutionen (NEWAH 2006).

3.4 Schlussfolgerungen, Ableitungen für die Praxis

Die oben beschriebenen Projektbeispiele machen noch einmal deutlich, dass es sehr stark von der Beachtung der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten abhängt, ob ein Projekt zur Verbesserung der Trinkwasserversorgung nachhaltig von Erfolg gekennzeichnet ist oder nicht.

Zwar kann man sagen, dass sich im Laufe jahrelanger Erfahrungssammlung in der Entwicklungszusammenarbeit verschiedene Ansätze herauskristallisiert haben, die die Wahrscheinlichkeit eines nachhaltigen Projekterfolgs erhöhen, die Nachhaltigkeit im einzelnen Projekt hängt jedoch stark davon ab, wie sehr es an die örtlichen Rahmenbedingungen angepasst ist. Eine Schlüsselrolle kommt dabei der Wahl des Pumpensystems zu, da dieses sowohl an die örtlichen Wasserressourcen als auch an die Situation der Gemeinde bzgl. ihrer finanziellen Ressourcen, ihrer Möglichkeiten, Ersatzteile zu beziehen, ihrer internen Struktur, ihrer technischen Erfahrung und ihrer Möglichkeit, externe Unterstützung zu erhalten, angepasst sein muss.

In jedem Fall haben sich Projektansätze, die sich an der Nachfrage der Gemeinde orientieren und diese in Planung, Durchführung und dauerhafte Unterhaltung miteinbeziehen, als erfolgreichste erwiesen. Die Gemeinde sollte dabei in die Wahl des Pumpensystems miteinbezogen werden, mit Technik und Wartung vertraut gemacht werden, über eine oder mehrere für Wartung und Betrieb der Pumpe zuständige Personen verfügen, Eigenleistungen einbringen und, wenn möglich, über Gebühren Rücklagen für größere Reparaturen bilden.

Anhand der beschriebenen Beispiele sowie der Studie zur Nachhaltigkeit der Projekte in Nepal wird deutlich, dass in den meisten Fällen ein dauerhafter Projekterfolg nur mit der Möglichkeit längerfristiger externer Unterstützung zu erreichen ist. Wo dies von Seiten der örtlichen Regierung nicht geleistet werden kann, bleiben eigentlich nur zwei Möglichkeiten zur Sicherung der Nachhaltigkeit. Dies ist zum einen ein dauerhaftes Hilfestellungs-Angebot durch die Projektorganisation, so dass in diesem Rahmen auch höher technisierte Pumpensysteme zum Einsatz kommen können. Wo eine dauerhafte externe Unterstützung von keiner Seite möglich ist, können andernfalls lediglich sehr einfache Pumpensysteme eingesetzt werden.

Eine nicht unerhebliche Rolle kommt neben der technischen Zusammenarbeit auch der unterstützenden Zusammenarbeit auf politischer Ebene zu, um die Rahmenbedingungen im jeweiligen Land zu schaffen, die eine nachhaltige Unterhaltung der Pumpensysteme durch die Gemeinden ermöglichen.

Im beschriebenen Windpumpenprojekt waren sowohl Pumpen- und Wassergewinnungssysteme gut an die örtlichen Gegebenheiten angepasst als auch der Projektansatz vorbildlich. Trotzdem konnte ein nachhaltiger Projekterfolg nicht erreicht werden, da hier kulturelle Hintergründe sowie die mangelnde Unterstützung durch Regierungsorganisationen und die schwierigen natürlichen Bedingungen des Projektgebiets nicht ausreichend bedacht wurden.

Das beschriebene Solarpumpenprojekt verspricht nachhaltig zu funktionieren. Dabei ist auch hier der Projekterfolg stark von den Projektgegebenheiten abhängig. Die Wahl der Pumpe erfolgte im Kontext der Gesamtsituation und scheint in diesem Fall gut geeignet. Das gleiche Pumpensystem könnte jedoch andernorts unter anderen Bedingungen und ohne die längerfristige Unterstützung der beiden Organisationen möglicherweise auch nicht zu einem nachhaltigen Projekterfolg führen.

Dies macht deutlich, dass es in der Praxis sehr wichtig ist, die Gegebenheiten vor Ort gut zu kennen, sich daran bei der Wahl der Pumpe zu orientieren und die Gemeinde in die Planungs- und Entscheidungsprozesse miteinzubeziehen.

4 Beispiel für eine kleine einsetzbare Solarpumpstation

Solarpumpen bestehen aus einer Pumpe, einem Motor (häufig in der Pumpe mitinbegriffen), der Regelelektronik, einem oder mehreren Solarmodulen sowie Modulständern. Gegebenenfalls kommen außerdem noch ein Wassertank oder Batterien oder bei einer wechselstrombetriebenen Pumpe ein Wechselrichter zur Umwandlung des Gleichstroms der Solarmodule hinzu.

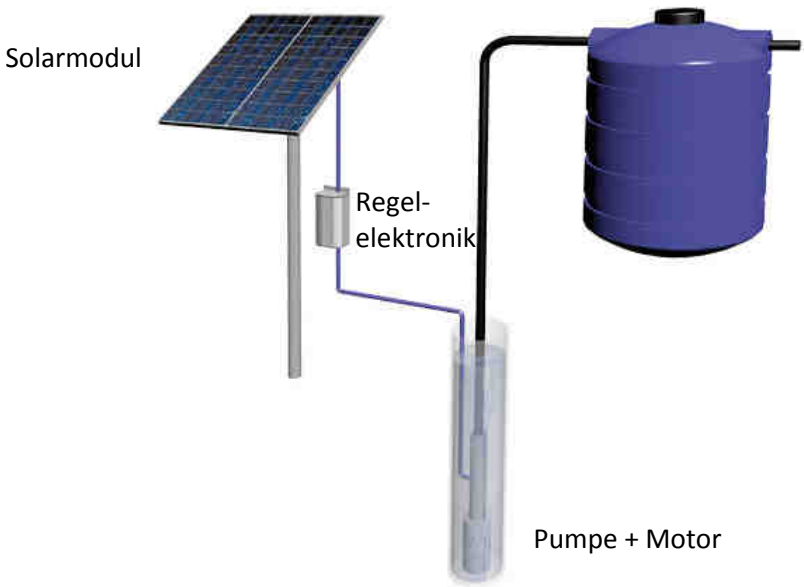


Abb. 87: Aufbau eines Solarpumpensystems

Mit Solarenergie können Kolben-, Membran-, Kreisel- bzw. Unterwasser- sowie Exzenterschneckenpumpen betrieben werden. Gängig sind Kreisel- oder Exzenterschneckenpumpen für die Förderung aus großen Tiefen. Einfache, gleichstrombetriebene Kreiselpumpen für die Trinkwasserförderung bei maximalen Förderhöhen von 70m sind schon ab etwa 750,- € erhältlich, bei größeren Förderhöhen liegen die Preise entsprechend höher.

Abb. 88 a - d: Bestandteile eines Solarpumpensytems: Regelelektronik, Pumpe, Solarmodul, Batterie, Wechselrichter

Meist werden Pumpe inkl. Motor und Regelungselektronik in einem Paketpreis angeboten, so dass die Solarmodule zusätzlich angeschafft werden müssen. Hier gibt es große preisliche Unterschiede zwischen unterschiedlichen Modulen. Die Preise von Solarmodulen ab einer Modulleistung (Pmax) von 20Wp liegen zwischen 70,- € (Dünnschicht-Solarmodul) und 880,- €.

Daneben werden auch kleine Komplettpakete mit Pumpe, Regelelektronik und Solarmodul angeboten. Hier liegen die Preise ab etwa 1.500,- €.

Batterien können zwischen 150,- € und 650,- € bezogen werden, die Preise für Wechselrichter liegen in etwa innerhalb der gleichen Preisspanne (Baumeister 2013, Elektro Conrad SE 2013).

5 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Wahl des Pumpensystems einen wichtigen Faktor für eine dauerhaft nutzbare Wasserversorgung darstellt. Wichtig für einen nachhaltigen Projekterfolg ist dabei die möglichst optimale Anpassung an die Gegebenheiten vor Ort.

Zur Auswahl steht eine große Zahl völlig unterschiedlicher Pumpensysteme mit unterschiedlichstem Technisierungsgrad. Für abgelegene Gemeinden mit minimalen finanziellen Ressourcen und ohne Zugang zu externer Unterstützung und Ersatzteilen eigenen sich einfache, fremdenergiefreie Pumpensysteme, die entweder weitgehend verschleißteilfrei und wartungsarm sind, wie beispielsweise der Hydraulische Widder, oder aus einfachsten, lokal verfügbaren Materialien bestehen, die jederzeit vor Ort ersetzt werden können, wie dies bei Schöpfpumpen der Fall ist. Hydraulische Widder können allerdings nur für die Förderung von Oberflächenwasser eingesetzt werden, und Schöpfpumpen bergen eine gewisse Kontaminationsgefahr. Weitere, relativ einfache Pumpensysteme sind Vakuumkolbenpumpen, die als Hand- oder Pedalpumpen existieren. Hier kommt es bei normalem Betrieb nicht zu Kontaminationen, jedoch können Reparaturen erforderlich sein, weshalb in den meisten Fällen eine geringe externe Unterstützung erforderlich ist. Gleiches gilt für Tiefbrunnenkolben- und -membranpumpen, die Wasser ebenfalls fremdenergiefrei fördern, deren Wartung jedoch oft nur noch teilweise auf Gemeindeebene möglich ist. Je nach Lage, Anbindung und Infrastruktur der Gemeinde sowie ihrem technischen Stand und der Erreichbarkeit von Ersatzteilen und fachmännischer Unterstützung können auch motorisierte Kreiselpumpen, Unterwasserpumpen und Exzenterschneckenpumpen eingesetzt werden. Diese empfehlen sich vor allem zur Überwindung großer Pumphöhen. Der Antrieb von Vakuumkolbenpumpen, Tiefbrunnenkobenpumpen, Membranpumpen, Kreiselpumpen und Exzenterschneckenpumpen kann alternativ über Wind- oder Solarenergie erfolgen. Wind- und Solarpumpen können emissionsfrei, Wartungsarm und frei von Betriebskosten betrieben werden und stellen somit eine attraktive zukunftsweisende Alternative dar.

Entscheidend für einen nachhaltigen Projekterfolg ist jedoch auch die Vorgehensweise bei der Umsetzung des Projekts. Hier kann auf Projektebene, Programmebene und Regierungsebene angesetzt werden. Auf Ebene von Projekten oder Programmen sollte ein nachfrageorientierter Ansatz verfolgt werden, bei dem die Gemeinde selbst ihren Bedarf an einer verbesserten Trinkwasserversorgung artikuliert. Hierfür müssen entsprechende Voraussetzungen existieren. Darüber hinaus hat sich der Ansatz des gemeindebasierten Projektmanagements durchgesetzt, bei dem die Einbindung der Gemeinde in alle Projektschritte erfolgt. Dies geschieht über gemeinsame Veranstaltungen zur Information der Gemeinde bzgl. Projektinhalten, Pumpentypen etc., der gemeinsamen Erörterung von Problempunkten und der direkten Einbeziehung der Gemeinde in Planung und Wahl des Pumpensystems. Darüber hinaus sollte die Gemeinde Materialien und Arbeitskraft in das Projekt einbringen und aktiv an der Installation beteiligt werden. Es sollten Wasserkomitees mit klaren Zuständigkeiten gebildet und eine oder mehrere für die Pumpe verantwortliche Personen bestimmt werden, die bzgl. Wartung und kleinerer Reparaturen geschult werden. Die Verantwortung für Wartung und Unterhaltung der Pumpe liegt hauptsächlich bei der Gemeinde. In den letzten Jahren kristallisierte sich jedoch heraus, dass ein Projektmanagement, bei dem die Gemeinde völlig auf sich alleine gestellt ist, in vielen Fällen nicht funktioniert, und zumindest eine geringe externe Unterstützung gegeben sein muss. Darauf deutet auch die Betrachtung der beschriebenen Praxisbeispiele sowie die Studie zur Nachhaltigkeit abgeschlossener Projekte, die von der nepalesischen NGO NEWAH durchgeführt wurde, hin.

Ebenfalls wichtig ist die Entwicklungszusammenarbeit auf Ebene von Regierungsinstitutionen, da hier die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen geschaffen werden müssen, um einen nachhaltigen Betrieb der Wasserförderungssysteme zu ermöglichen und die Trinkwasserversorgung landesweit zu koordinieren. Eine zukünftige Herausforderung liegt in der Integration und Koordinierung der verschiedenen Ebenen der Entwicklungszusammenarbeit.

Orientieren sich Projektansatz, Vorgehensweise und Wahl der Pumpe an der individuellen Situation der jeweiligen Gemeinde, bestehen gute Chancen, eine nachhaltige Verbesserung der Wasserversorgung der Bevölkerung zu erreichen.

6 Ausblick und offene Fragen

Eine der vielversprechendsten Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich der Pumpensysteme ist die Nutzung von Solarenenergie zum Antrieb. Diese Entwicklung ist zwar generell nicht ganz neu, aber durch stetige Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Solartechnologie und einer zunehmenden Verbreitung in der Nutzung nahmen die Preise für Solarpanele in den letzten Jahren kontinuierlich ab, wodurch Solarpumpen zunehmend auch im Rahmen von Kleinprojekten eingesetzt werden können.

Allerdings ist dies mancherorts auch kritisch zu betrachten. Da Solarpumpen bei Sonnenschein kontinuierlich fördern und eine wesentlich höhere Fördermenge ermöglichen als handbetriebene Pumpensysteme, kann es zu einer Übernutzung kleinerer Grundwasservorkommen kommen und / oder zu Wasserverschwendung verleiten. Eine zukünftige Herausforderung stellt daher ein verantwortungsbewusster und überlegter Einsatz unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit dar.

Kriterien für einen sinnvollen Einsatz können sein:

- ausreichende Größe und Neubildung des Grundwasservorkommens

- hohe erforderliche Pumphöhe (so kann mittels „High Lift“-Pumpen per Hand nur etwa bis zu 45m Tiefe gefördert werden, während mit Solarantrieb bis zu 180m möglich sind)

- vorhandene Vorrichtungen der Pumpe zur Einstellung maximaler Fördermengen und einer automatischen Abschaltung bei Abfall des Grundwasserspiegels

- mögliche dauerhafte Unterhaltung durch die Gemeinde (Erfahrung mit der Technologie, Ersatzteilerhältlichkeit, finanzielle Rücklagen für Reparaturen etc. – s.o.)

Weitere zukünftige Herausforderungen sowie offene Fragen liegen z.B. in möglichen Lösungen zum Vorbeugen von Diebstählen, da Solarpanele für verschiedenste Zwecke einsetzbar und relativ einfach zu installieren sind und deshalb häufig gestohlen werden.

Daneben bietet die Optimierung von Energiespeichermöglichkeiten ein weiteres noch offenes Feld. In den meisten Projekten erfolgt für die Zeiten ohne Sonneneinstrahlung derzeit eine Wasserspeicherung in Vorratstanks. Von Vorteil ist hier, dass es dabei nicht zu Energieverlusten kommt, und keine zusätzliche elektronische Komponente benötigt wird, die ggfls. auch kaputtgehen kann. Nachteile liegen jedoch im evtl. langen Stehen des Wassers bei Hitze und Sonneneinstrahlung, was zu einer Verkeimung führt. Auch kann so der Brunnen zeitweise trocken fallen. Orientiert sich die Wasserentnahme hingegen direkt am Bedarf, und wird die unter Sonneneinstrahlung produzierte Energie nicht direkt in die Förderung von Wasser umgesetzt, sondern in einem Akku/Batterie zwischengespeichert, entfällt diese Problematik, da jeweils bei Bedarf mit Hilfe der gespeicherten Energie frisches Wasser gepumpt werden kann. Die aktuelle Entwicklungstendenz geht daher in Richtung wartungsarmer Akkus mit geringeren Energieverlusten, so dass dies in Zukunft wahrscheinlich auch eine attraktive Option darstellen wird.

Generell bietet die Solartechnologie gerade für Regionen mit hoher Sonneneinstrahlung in Afrika viele Nutzungsmöglichkeiten und ein hohes wirtschaftliches Potential. Sollte es gelingen, hier regionale Wirtschaftszweige aufzubauen, könnte das die generelle Entwicklung einzelner Länder voranbringen, und die Solartechnologie auch verstärkt Einsatz in der Trinkwasserversorgung finden.

Literaturverzeichnis

Adhikari, Barun Kanta und Bhattarai, Shashi (2010): Long term sustainability monitoring – WaterAid's experience in Nepal. Discussion Paper. WaterAid Nepal. http://www.wateraid.org/~/media/Publications/discussion-paper-long-term-sustainability-monitoring-nepal.pdf [27.11.2011]

Antikefan.de http://www.antikefan.de/themen/wasser/wasser.html [10.10.2012]

Ballhausen, Hanno und Kleinelümern, Ute (2008): Archimedische Schraube. In: Die wichtigsten Erfindungen der Menschheit: geniale Ideen, die die Welt veränderten. Wissenmedia Verlag. S. 54. http://books.google.de/books?id=Lj6LS3sy2CIC&pg=PA54&lpg=PA54&dq=Archimedische+Schraube+Zylin-der+fest&source=bl&ots=ZPuqmzOtSa&sig=M7jOW1St5H719OzKSnyBhUIOV04&hl=de&sa=X&ei=vADNUJLe-NI3Vsga32IDAAg&ved=0CDYQ6AEwATgK#v=onepage&q=Archimedische%20Schraube%20Zylinder%20fest&f=false [25.11.2012]

Baumeister, Alois - Solar- und Haustechnik: Tiefbrunnenpumpen. http://www.solartechnik-shop.de/Solarstrom/Solarpumpen/Tiefbrunnenpumpen [18.03.2013]

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Grundwasserressourcen-Management. http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Management/management_node.html [07.10.2012]

BORDA e.V. – Bremen Overseas Research and Development Association: Good Practice: The Hydraulic Ram. http://www.borda-net.org/basic-needs-services/decentralized-water-supply.html#c653 [02.03.2013]

Breslin, Edwar D. (2003): Demand response approach in practice: why sustainability remains elusive. Discussion Paper. 3. World Water Forum, März 2003, Japan

Brikké, Francois und Bredero, Maarten (2003): Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation. Hrsg.: World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre Geneva, Switzerland

Börger GmbH: Anwendungsbeispiele. http://www.boerger.de/de_DE/produkte/drehkolbenpumpen/anwendungsbeispiele.html [12.02.2013]

Conrad Elektronik SE: Online-Shop http://www.conrad.de/ce/de/category/SHOP_AREA_17194/Solar-Wind [18.03.2013]

Deutsche Welthungerhilfe e.V. (2011): Jeder Tropfen ist Leben. Sauberes Wasser für alle stellt eine der größten globalen Herausforderungen dar. In: Welthungerhilfe – Das Magazin, Ausgabe 2 / 2011; S. 10 - 15

Eberle, Sonja: Kenia – The "Stoney" Story. http://www.welthungerhilfe.de/informieren/projekte/projekt/wasser-in-kenia.html#!/b1226/b1190/a338/ [17.03.2013]

Eckhardt, Heinz, Hermann, Alexander und Meyer Christoph (2010): Grundlagen der technischen Infrastruktur. Prozesse in Wasserkörpern, Wasserversorgung und Regenwasserversickerung. Skript zur gleichnamigen Vorlesung.

FAO (1986): Water lifting – Irrigation and Drainage Paper 43. http://www.fao.org/docrep/010/ah810e/AH810E00.htm [10.11.2012]

FH Bielefeld: Archimedische Schraube (Schraubenpumpe). http://lrh10.fh-bielefeld.de/projekte/leonardo/schraube/schraube.htm [07.10.2012]

Fristam Pumpen KG: Das große Pumpen 1 x 1. http://www.fristam.de/cms/upload/download/05d.pdf [08.10.2012]

Gerold, Florian (2001): Der hydraulische Wasserwidder. Facharbeit aus der Physik. http://home.arcor.de/wasserwidder/Facharbeit%20Widder.pdf [10.01.2013]

GEW pumpenboese GmbH: Solarangetriebene Pumpen. http://www.gwe-gruppe.de/de/products/our_products/pumps/solar_pumps/ [21.02.2013]

Gramatke, Hans-Peter: Die Archimedische Schraube. http://www.hp-gramatke.de/pmm_physics/german/page0450.htm [20.09.2012]

Hofkes, E. H. und Visscher, J. T. (1986): Renewable Energy Sources for rural water supply. Technical Paper 23. Hrsg.: IRC - International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation, Den Haag, Niederlande

Hoyer von, Michael und Godoy V. Eugenio (1998): Methods fort he Improvement of the Water Supply in the Chaco of Paraguay. http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ/Paraguay/gwres_west_fb_01_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [10.03.2013]

Hydro-Kosmos.de: Archimedische Schraube – Schneckenpumpe. http://www.hydro-kosmos.de/anlage/archimed.htm [20.09.2012]

IRC (1988): Handpumps – Issues and concepts in rural water supply programmes. Technical Paper 25. Hrsg.: IRC - International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation, Den Haag, Niederlande

Jousma, G. und Roelofsen, F.J. (2004): World-wide inventory on groundwater monitoring. IGRAC – International Groundwater Resources Assessment Centre

Junker, Martin und von Hoyer, Michael (1998): Verbesserung der Trinkwasserversorgung für die armen Bevölkerungsgruppen im Chaco von Paraguay. In: Zeitschrift für Angewandte Geologie 44 (1998) 2, S. 100 - 107.

http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ/Paraguay/gwres_west_fb_02_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [15.11.2012]

Kanta, Barun und Bhattarai, Shashi (2010): Long term sustainability monitoring. WaterAid's experience in Nepal. WaterAid Nepal, Kupondole, Lalitpur

Knaus, Florian (2011): http://reiseberichte.rastlos.com/caro-und-flo/Tansania/ingenieure-ohne-grenzen-brunnen-und-autarkes-licht.html [15.03.2013]

Kunstmann, H. (2007): Regionale Auswirkung der Klimaveränderung auf die Wasserverfügbarkeit in klimasensitiven Gebieten. In: Endlicher, W. (Hrsg): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam, S.67-74

Lemser, Dieter (2006): Pumpen im Baubetrieb. In: BG Bau – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (Hrsg.): Tiefbau 7 / 2006, S. 396 – 401

Lorentz Solar Pumps (2013): PS Centrifugal Solar Pump Systems. http://www.lorentz.de/en/products/submersible-solar-pumps/ps-c.html [03.03.2013]

Meyers Konversationslexikon (1888): Spiralpumpe. Bd. 15. Autorenkollektiv, Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig und Wien, 4. Auflage, 1885-1892. http://www.peter-hug.ch/lexikon/Spiralpumpe [08.10.2012]

Möller, Lutz und Gardizi, Farid (2012): Weltwasserbericht 2012: Kernaussagen. Wassermanagement stärker in die globale Politik integrieren. http://www.unesco.de/weltwasserbericht4_kernaussagen.html [09.11.2012]

Mono Pumps Ltd.: Drehkolbenpumpen. http://www.mono-pumps.com/de/drehkolbenpumpen [12.02.2013]

Moriarty, Patrick (2003): 5 Integrated Water Resources Management. In: Small Community Water Supplies: Technology, people & partnership. IRC Internat. Water & Sanitation Center, Delft, S. 80 - 100

Neale Consulting Engineers Ltd (2008): Poldaw Windpumps. http://tribology.co.uk/poldaw.htm [17.02.2013]

NEWAH – Nepal Water for Health (2006): Long Term Sustainability Study (LTSS) Findings. http://newah.org.np/index1.php?option=information&id=19 [01.02.2013]

NEWAH – Nepal Water for Health (2011): Introduction. http://www.newah.org.np/index1.php?option=information&id=24 [16.03.2013]

Noppen, Dolf (1996): Village Level Operation and Maintenance of Handpumps – Experiences from Karonga, Malawi. Anhang 2. Hrsg.: IRC - International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation, Den Haag, Niederlande

NWP – Netherlands Water Partnership (2006): Smart Water Solutions – Examples of innovative, low-cost technologies for wells, pumps, storage, irrigation and water treatment. 3. Auflage

Okuni Patrick (2003): Pumping. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 170 - 196

Patalong, Frank (2011): Drohende Wasserknappheit – Verschwendet, verdreckt, verdunstet. http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/drohende-wasserknappheit-verschwendet-verdreckt-verdunstet-a-793784.html [11.11.2012]

QueenVictoriaWaterProject (2010): Choice of Handpumps – WaterAid Handpump Selection Guide. http://www.queenvictoriawaterproject.org/wp-content/uploads/2010/03/Water-Aid-Hand-Pump-Selection-Guide.pdf [25.02.2013]

RWSN – Rural Water Supply Network: Nira AF-85-Pump. http://www.rwsn.ch/prarticle.2005-10-25.9856177177/prarticle.2005-10-26.2582788867/prarticle.2008-12-04.2105225472/prarticle.2009-02-05.1222876984 [09.01.2012]

Samweber, Norbert: Hydraulische Widder, System WAMA und andere. http://www.hydraulische-widder.de/html/technik.html [21.12.2011]

Schouten, Ton und Moriarty, Patrick (2005): The limited impact of the project approach: Alternative ways of programming water supply and sanitation services. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Instituto Cinara. Cali, Cinara
Conferencia: Seminario Internacional: Programas de Agua, Saneamiento e Higiene: Enfrentando los Desafíos del Milenio; Cali, nov. 2-4, 2005.

Struckmeier, Wilhelm et al. (2003): Grundwasser. In: Commodity Top News, No. 21, Dezember 2003. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Tansaniahilfe Ismaning (2012): Partnerschaft der Evang. Gemeinde Ismaning / Unterföhring mit den Dörfern der Evang. Kirchengemeinde Kitandililo im Südlichen Hochland von Tanzania. http://www.tanzaniahilfe-ismaning.de/images/texte/beschreibungderpartnerschaft2011.pdf [14.03.2013]

Tansaniahilfe Ismaning (2012): Solarwasserpumpen und Solarhomesysteme. http://www.tanzaniahilfe-ismaning.de/solarprojekt_unicredit.htm [27.01.2013]

Taylor, Ben (2009): Addressing the Sustainability Crisis. Lessons from research on managing rural water projects. WaterAid Tanzania

Tenner, Daniel (2009): Das Wasserschloss des Pharaos. Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG Münster.

UNICEF (2010): WASH Technology Information Packages – for UNICEF WASH Programme and Supply Personnel. http://artplatform.unicef.org/wash/UNICEF_WASH_Technology_web.pdf [07.02.2013]

University of Sheffield (2010): Student uses pedal power to create novel machine. http://www.shef.ac.uk/news/nr/1635-1.173983 [17.02.2013]

Vergnet Hydro: http://www.vergnet-hydro.com/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=140&lang=en [10.02.2013]

Vrba, Jaroslav Dr. und van der Gun, Jac (2004): The worlds groundwater resources. Contribution to Chapter 4 of WWDR-2 (Draft). IGRAC – International Groundwater Resources Assessment Centre

W-3-W Wasser für die Dritte Welt: Technische Daten der Pedalpumpe. http://www.w-3-w.ch/deutsch/technischeDaten.pdf [03.03.2013]

Wagner & Co. Solartechnik GmbH (1997): Strom aus Sonnenlicht – Technik, Planung und Montage. 4. Auflage Cölbe / Marburg

WasserWissen – Online-Lexikon: Archimedesschraube, Zulaufschnecke, Schneckenpumpe. http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/a/archimedesschraube.htm [10.11.2012]

Water Africa International Ltd. http://www.waterafrica.net/a8.html [07.02.2013]

WaterAid (2011): Sustainability Framework. http://www.wateraid.org/~/media/Publications/sustainability-framework.pdf [21.12.2011]

WaterAid: Technology Notes. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/technology_notes_07_web_1.pdf [28.12.2012]

Watsan (2009): An innovative low-cost maintenance VLOM handpump, very reliable with a spare parts free pump system to lift water from 1 - 100 m deep. http://www.watsan.org/ [25.02.2013]

WHO (2010): Global Health Observatory Data Repository. MDG 7: Environment sustainability: Water and sanitation indicators. http://apps.who.int/gho/data/?vid=590 [10.11.2012]

Wiens, Fernando (2006): Wasserversorgung. In: Lexikon der Mennoniten in Paraguay. http://www.menonitica.org/lexikon/?W:Wasserversorgung [11.03.2013]

Wiens, Fernando (2013): e-mail vom 04.02.2013

Wiesenbacher, Florian (2011): Solarwasserpumpen und autarkes Licht in Tanzania/Afrika. http://www.ingenieure-ohne-grenzen.org/de/Regionalgruppen/Regensburg/Projekte/Solarwasserpumpen-und-autarkes-Licht-in-Tanzania-Afrika [27.01.2013]

Wiesenbacher, Florian (2013): e-mail vom 21.02.2013

Wijk-Sijbesma van, Christine (2003): 1 Introduction. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 16 - 23

Wijk-Sijbesma van, Christine (2003): 2 Planning and Management. In: Small Community Water Supplies: Technology, people and partnership. IRC International Water and Sanitation Center, Delft, S. 26 - 46

Wikipedia: Archimedische Schraube http://de.wikipedia.org/wiki/Archimedische_Schraube [20.09.2012]

Wikipedia: Drehkolbenpumpe http://de.wikipedia.org/wiki/Drehkolbenpumpe [12.02.2013]

Wikipedia: Exzenterschneckenpumpe http://de.wikipedia.org/wiki/Exzenterschneckenpumpe [01.03.2013]

Wikipedia: Hubkolbenpumpe http://de.wikipedia.org/wiki/Hubkolbenpumpe [12.01.2013]

Wikipedia: Hydraulischer Widder. http://de.wikipedia.org/wiki/Hydraulischer_Widder [10.01.2013]

Wikipedia: Millenium-Entwicklungsziele. http://de.wikipedia.org/wiki/Millennium-Entwicklungsziele [09.11.2012]

Wikipedia: Nachhaltige Entwicklung. http://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltige_Entwicklung [10.11.2012]

Wikipedia: Plungerpumpe. http://de.wikipedia.org/wiki/Plungerpumpe [15.01.2013]

Wikipedia: Schneckenförderer. http://de.wikipedia.org/wiki/Schneckenf%C3%B6rderer [10.11.2012]

Wikipedia: Solar-powered pump. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar-powered_pump [21.02.2013]

Wikipedia: Trinkwasser. http://de.wikipedia.org/wiki/Trinkwasser [10.11.2012]

Wilo Pumpenfibel (2009): Grundlagen der Pumpentechnik. Hrsg.: Wilo SE. http://www.wilo.de/fileadmin/03_content_de/downloads/Download_Shop/Unternehmen/bro_2105982_themen_pumpenfibel__01_0909_4c.pdf [28.02.2013]

WindTechnikNord GmbH: Windpumpe Modell 4T. http://www.windtechniknord.de/html/de/modell%204T.htm [17.02.2013]

Zahner Metallbearbeitung: Wasserpumpe Widder. Zur Versorgung höher gelegener Orte mit Trink- und Brauchwasser. http://www.wasserpumpe-widder.ch/funktionsprinzip.asp [10.01.2013]

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Die Stellen, die anderen Werken (auch Internetquellen) dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, habe ich unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht.

_____ 18.03.2013, Darmstadt_____

Mascha Wembacher Datum, Ort