

Sektion Bergland
des Deutschen Alpenvereins e.V.

**Demonstration umweltgerechter Ver- und Entsorgungssysteme
für ausgewählte Berg- und Schutzhütten am Beispiel der
Brunnenkopfhäuser (1602 m ü. NN) in den
Ammergauer Alpen, Deutschland**

Abschlussbericht über ein
umwelttechnisches Fördervorhaben der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt
(Az: 17400/10)

von

Dr. Axel Zwicker

Juli 2008

Sektion Bergland
des deutschen Alpenvereins
1. Vorstand Stefan Schuhbauer
Kyreinstr. 6
81371 München
Tel: +49 177 4419310
Fax: +49 177 99 4419310
www.dav-bergländ.de
info@dav-bergländ.de

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen

Verzeichnis von Begriffen und Abkürzungen

Zusammenfassung

1. Einführung	1
2. Umbau- und Sanierungsmaßnahmen	5
2.1 Energieversorgung	5
2.1.1 Elektrische Energie	5
2.1.2 Thermische Energie	6
2.2 Wasserversorgung	7
2.3 Sanitäre Anlagen	7
2.4 Abwasserentsorgung	9
3. Fazit	17
Literaturverzeichnis	18
Anhänge	19

Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen

Abb. 1: Die Brunnenkopfhäuser (Aufnahme ca. 1930)	2
Abb. 2: Kompostentnahme aus den Trockentoiletten	8
Abb. 3: Blockfließbild der Abwasserbehandlung „Brunnenkopfhäuser“	11
Abb. 4: Aushub der Becken für die Filterbeete	15
Abb. 5: Einbau des Filtermaterials	16
Abb. 6: Filterbeete der Abwasserreinigungsanlage (ein Jahr nach Errichtung)	17
Tab. 1: Bemessungsgrundlagen für Lastfälle Abwasserbehandlungsanlage	13

Verzeichnis von Begriffen und Abkürzungen

BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf [die Menge an Sauerstoff (in mg/l), welche Bakterien und andere Kleinstlebewesen in einer Wasserprobe im Zeitraum von 5 Tagen bei einer Temperatur von 20° C verbrauchen, um die Wasserinhaltsstoffe aerob abzubauen]
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf [die Menge an Sauerstoff, welche zur Oxidation der gesamten im Wasser enthaltenen organischen Stoffe verbraucht wird in mg/l oder g/m ³]
l/d	Liter pro Tag
EW	Einwohnerwert [entspricht der täglich von einem Einwohner in das Abwasser abgegebenen Menge an organischen Verbindungen]
g/m ³	Gramm pro Kubikmeter
kW	Kilowatt
kWp	Kilowatt - Peak (Spitzenleistung)
m/l	Milligramm pro Liter
V	Volt
Vdc	Volt Gleichstrom (Gleichspannung)
W	Watt [Einheit der elektrischen Leistung]

Zusammenfassung

Die Brunnenkopfhäuser liegen im bayerischen Naturschutzgebiet "Ammergebirge" auf 1602 m ü. NN. Sie werden seit ca. 1920 von der Sektion Bergland des Deutschen Alpenvereins betreut und bewirtschaftet. Die DAV-Unterkunftshütte (Kategorie I) ist während der Saisonmonate (Mai-Oktober) aufgrund ihrer attraktiven Lage (Naherholungsgebiet, Fernwanderwege) extrem stark frequentiert. Um bei dem stetig wachsenden Besucheraufkommen einen umweltgerechten Hüttenbetrieb aufrecht erhalten zu können und gleichzeitig den behördlich geforderten Auflagen gerecht zu werden, wurden umfangreiche Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen im Bereich der Abwasserentsorgung sowie der Energie- und Wasserversorgung notwendig.

Ziel des Projektes war es, unter den schwierigen gegebenen Voraussetzungen (Lage im Naturschutzgebiet, hohe Besucherzahlen, kein Strom, extrem wenig Wasser) eine ganzheitliche Ver- und Entsorgungslösung für den sensiblen Hüttenstandort zu finden und umweltgerecht umzusetzen.

Im Rahmen der Sanierung der sanitären Anlagen wurde das ehemalige „Plumpsklo“ durch eine neue Toilettenanlage bestehend aus drei Komposttoiletten und einem Urinal ersetzt. Die anfallenden Abwässer (Sickerwasser der Komposttoiletten, Urin, Abwässer aus der Küche und den Waschgelegenheiten) werden in einer neu errichteten biologischen Kläranlage abgereinigt. Die Abwasserbehandlungsanlage besteht aus Sammel- und Beschickungsschächten, zwei seriell beschickten und vertikal durchströmten Bodenfiltersystemen (Pflanzenbeete) mit Rezirkulationsmöglichkeit und einem Ablauf- und Kontrollschacht. Die Pflanzenbeete wurden einige Höhenmeter unterhalb der Hütte in einem Südwest exponierten Hanggelände terrassenförmig angelegt und durch ingenieurbioologische Maßnahmen gesichert. Die Energieversorgung der Hütte erfolgt durch eine Photovoltaikanlage. Die alte bestehende Anlage wurde, um den Erfordernissen einer zeitgemäßen Hüttenbewirtschaftung gerecht zu werden, modernisiert und erweitert. Das bestehende alte Dieselaggregat ersetzte man durch einen umweltfreundlichen, mit pflanzenölbetriebenen Stromerzeuger, der zur Abdeckung etwaiger Verbrauchsspitzen bzw. als Backup-System eingesetzt wird.

Im Bereich der Wasserversorgung wurde das Verteilungssystem innerhalb der Hütte angepasst und erneuert, die Trink- und Brauchwasserreserve um 1000 l erweitert und die Wasserbehandlungsanlagen (Filteranlagen, UV-Desinfektionsanlage) auf den aktuellen Stand der Technik gebracht.

Die Baumaßnahmen wurden unter der Projektnummer 17400/10 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Rahmen des Fördervorhabens „Demonstration umweltgerechter Ver- und Entsorgungssysteme für ausgesuchte Berg- und Schutzhütten“ finanziell unterstützt und sind in der 2008 erschienenen DBU-Publikation "Umwelttechnik für alpine Berg- und Schutzhütten" eingehend beschrieben [Men08].

1. Einführung

Die Sektion Bergland des Deutschen Alpenvereins e.V. gehört mit rund 650 Mitgliedern zu den kleineren der Hüttenbesitzenden DAV-Sektionen im Münchener Raum. Die Sektion ging aus der im Jahre 1908 von August Schuster gegründeten "Kaufmännischen Alpinen Vereinigung Bergland" hervor, die sich nach raschem Wachstum im Jahre 1909 unter dem Namen "Sektion Bergland e.V." dem Deutschen und Österreichischen Alpenverein anschloss. Bereits damals war die Sektion für ihr reges Vereinsleben und ihre umfangreichen alpinen Aktivitäten mit zahlreichen Erstbesteigungen bekannt. Trotz erheblicher Verluste von Mitgliedern in den Wirren der beiden Weltkriege, schaffte es die Sektion Bergland immer wieder sich neu zu formieren und machte über die Jahre hinweg mit extremen Unternehmungen und alpinen Erfolgen ihrer Mitglieder wie z.B. Hermann Buhl oder Kurt Diemberger auf sich aufmerksam.

Das Arbeitgebiet der Sektion Bergland liegt ca. 1 Autostunde südlich von München in den Ammergauer Alpen, auch Ammergebirge genannt. Das Ammergebirge wurde 1963 größtenteils unter Naturschutz gestellt und ist mit einer Fläche von rund 30.000 ha eines der größten zusammenhängenden Naturschutzgebiete Deutschlands. Der durch die Sektion Bergland seit 1919 betreute Gebietsabschnitt liegt westlich von Unterammergau und umfasst eine Fläche von ca. 50 km². Der überwiegende Teil des betreuten Wegenetzes liegt im zentralen Bereich des Ammergebirgs-Hauptkammes und erstreckt sich von dem markanten Klammspitz-Gipfel im Westen über die Gipfel des Brunnenkopfs, Hennenkopfs, Laubenecks und Teufelstättkopfs bis hin zum Sonnenberg im Osten. Die Sektion bewirtschaftet seit 1920 zwei Alpenvereinshütten im Naturschutzgebiet Ammergebirge - das "August-Schuster-Haus" am Pürschling (Pürschlinghäuser) sowie die Brunnenkopfhäuser.

Die Brunnenkopfhäuser wurden im Jahre 1854/55 auf Veranlassung von König Maximilian II. von Bayern erbaut und ebenso wie die Pürschlinghäuser als "Königliche Jagdhäuser" genutzt. In jener Zeit wurden auch die meisten der heutigen Wanderwege und Steige - damals noch als Reitwege - angelegt. Später besuchte König Ludwig II., wie durch alte Urkunden belegt ist, die Brunnenkopfhäuser regelmäßig und führte von dort aus auch seine Amtsgeschäfte. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts waren die Brunnenkopfhäuser nur noch selten genutzt und stark heruntergekommen. Nach dem ersten Weltkrieg pachtete die Sektion Bergland die bis dahin fast gänzlich verfallenen Hütten von der damaligen Krongutsverwaltung, renovierte sie und nahm 1922 die Bewirtschaftung auf. Eine zweite Generalsanierung war nach Ende des 2. Weltkrieges notwendig.



Abb. 1: Die Brunnenkopfhäuser (Aufnahme ca. 1930)

Mit Ausnahme einer kurzen Unterbrechung während der Kriegswirren, wurden die Brunnenkopfhäuser von der Sektion Bergland durchgehend bewirtschaftet, saniert und Instand gehalten und stellen so einen wichtigen Bestandteil der 100-jährigen Sektionsgeschichte dar. Die Häuser liegen auf einer Höhe von 1602 m ü. NN in aussichtsreicher Lage oberhalb von Schloss Linderhof an den Südhängen des Brunnenkopfes (1718 m ü. NN). Die eigentliche königliche Jagdhütte wird heute als sektionseigene Selbstversorgerhütte genutzt, das ehemalige Bedienstetenhaus wurde erweitert und ist eine öffentlich zugängliche Alpenvereinshütte mit Bewirtschaftung und Übernachtungsmöglichkeit (DAV-Hütte der Kategorie I). Beide Gebäude stehen unter Denkmalschutz. Eigentümer ist der Freistaat Bayern, von dem die Brunnenkopfhäuser nebst umliegendem Grund seit Jahrzehnten langfristig gepachtet sind.

Eckdaten zur bewirtschafteten DAV-Brunnenkopfhütte:

Lage:	Naturschutzgebiet Ammergebirge bei Oberammergau / Linderhof
Höhe ü. NN:	1604 m
Objektart:	bewirtschaftete DAV-Schutzhütte der Kategorie 1
Eigentümer:	Freistaat Bayern

Pächter:	Sektion Bergland des DAV e.V.
Ansprechpartner:	Dr. Thomas Borm, Dr. Axel Zwicker
Personal inkl. Wirtsleute:	3-4 Personen
Öffnungszeiten:	Anfang Mai bis Anfang / Mitte Oktober je nach Schneelage; ca. 150 Tage
Übernachtungsplätze:	36 Matratzenlager
Jährliche Übernachtungen:	ca. 1000 pro Jahr
Tagesgäste:	ca. 8500 pro Jahr
Maximale Besucherzahlen:	36 Übernachtungen + 250 Tagesgäste
Versorgung der Hütte:	kleiner Geländewagen + Quad
Abfallbehandlung:	Kompostierung der organischen Abfälle, Verwendung von Mehrweggebinden, strikte Trennung der Abfälle nach dem „Gelben Sack“ Prinzip
Abwasserreinigungsanlage:	bis 2005 keine
Vorfluter / Gewässer:	keines

Die bewirtschaftete DAV-Brunnenkopfhütte ist vom Parkplatz des Schloss Linderhof aus in 1,5 - 2 Stunden über einen schmalen Fahrweg (ehemaliger Reitweg) leicht zu erreichen. Die Versorgung der Hütte erfolgt mit einem kleinen Geländefahrzeug über den gleichen Weg. Aufgrund ihrer zentralen Lage am Ammergebirgs-Hauptkamm sowie ihrer relativ leichten Erreichbarkeit ist die Hütte zum Einen ein wichtiger Stützpunkt für mehrere Fernwanderwege („Ammergauer-Durchquerung“, „Fernwanderweg E4“, „Maximilians-Weg“ und „Via Alpina“) zum Anderen ein beliebtes Ziel für Tagestouristen. Sie ist daher während der Saisonmonate (Mai-Oktober) sehr stark frequentiert und nahezu jedes Wochenende vollständig belegt.

Um bei dem stetig wachsenden Besucheraufkommen einen umweltgerechten Hüttenbetrieb aufrecht erhalten zu können und gleichzeitig den behördlich geforderten Auflagen gerecht zu werden, wurden umfangreiche Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen im Bereich der Abwasserentsorgung sowie der Energie- und Wasserversorgung notwendig.

Ziel des Projektes war es, unter schwierigen Voraussetzungen (Lage im Naturschutzgebiet, Denkmalschutz der Gebäude, hohe Besucherzahlen, kein Strom, extrem wenig Wasser) eine umweltverträgliche Ver- und Entsorgungslösung für den sensiblen Hüt-

tenstandort zu finden und umzusetzen. Im Vorfeld wurde daher durch das Ing.-Büro Berger (Garmisch-Partenkirchen) der Ist-Zustand der Hütte erfasst, eine Energiestudie erstellt und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt [Ber03].

Das Konzept sah vor, die Energieversorgung der Hütte zu modernisieren, die bestehende Solaranlage zu erweitern und das bestehende alte Dieselaggregat durch einen umweltfreundlichen, mit pflanzenölbetriebenen Stromerzeuger zu ersetzen. Hinsichtlich der Abwasserproblematik waren schon im Vorfeld mehrere Entsorgungsvarianten auf ihre Durchführbarkeit überprüft worden. Dabei schied die Errichtung einer Anlage zur Abwasserklärung mittels Festbettreaktor (Fa. Siemens, Modell Alpclear) sowohl aus baulichen (relativ großes Bauwerk im Umfeld der denkmalgeschützten Hütte) als auch aus Kosten-Gründen aus. Auch eine Ableitung der Abwässer mittels Druckentwässerung in die Kläranlage nach Linderhof erwies sich als bautechnisch aufwändig und mit kalkulierten Kosten von rund 250.000 € als relativ teuer. Man entschloss sich daher für den Einsatz von Komposttoiletten in Verbindung mit einer zweistufigen Pflanzenkläranlage zur Klärung aller im Hüttenbetrieb anfallenden Abwässer. Diese „Insellösung“ erschien sowohl hinsichtlich der gestellten Anforderungen (Naturverträglichkeit, Betrieb mit wenig Strom und Wasser) als auch von den kalkulierten Gesamtkosten in Höhe von ca. 140.000 € durchführbar. Nachdem bezüglich des Einsatzes von Pflanzenkläranlagen/Klärbeeten in entsprechenden alpinen Höhenlagen noch wenig Erfahrungen vorliegen, diese Entsorgungsvariante andererseits einen interessanten Aspekt für den umweltverträglichen Betrieb von Berghütten darstellt, konnte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt dafür gewonnen werden, das Projekt im Rahmen des Förderprogramms „Umweltgerechte Ver- und Entsorgungskonzepte für Berg- und Schutzhütten“ finanziell zu unterstützen.

Die Baumaßnahmen wurden in den Sommer- und Herbstmonaten der Jahre 2005 - 2008 durchgeführt. Da eine geregelte Bewirtschaftung der Hütte während der Bauarbeiten (Toiletten, Abwasser, Energietechnik) nur schwerlich aufrecht zu erhalten gewesen wäre und gleichzeitig ein Wechsel des Hüttenpächters bevor stand, wurde die Hütte im Jahr 2005 geschlossen. Nach Abschluss der Hauptbaumaßnahmen erfolgten in den Jahren 2006 bis 2008 parallel zum Hüttenbetrieb weitere Umbaumaßnahmen wobei gleichzeitig erste Erfahrungen mit der neuen Anlagentechnik gewonnen werden konnten.

2. Umbau- und Sanierungsmaßnahmen

Nachfolgend werden die durchgeführten Baumaßnahmen im Bereich der Energie- und Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung erläutert. Die Beschreibung der jeweiligen Ausgangssituationen sowie der möglichen Erweiterung- bzw. Sanierungsmaßnahmen sind der „*Energiestudie der Brunnenkopfhäuser*“ sowie der „*Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Abwasserreinigungsanlage Brunnenkopfhäuser*“ des Ing.-Büros Berger (Garmisch-Partenkirchen) zu entnehmen (siehe Anhang A 1 und A 2).

2.1 Energieversorgung

Die bisherige Energieversorgung der Brunnenkopfhütte stützte sich auf eine kleine Photovoltaikanlage mit 0,8 kWp und auf ein Dieselaggregat mit 6,5 kWp. Die elektrische Installation für die Beleuchtung der Hütte war auf 24 V Gleichspannung ausgelegt. Ein Wechselrichter sorgte für 230 V Wechselspannung und versorgte die Küchenmaschinen (Quirl u. Schneidemaschine), den Kühlschrank und die Kühltruhe. Mit dem zusätzlichen Betrieb der Bierkühlung sowie der Trinkwasserpumpe war die installierte Photovoltaikanlage allerdings vielfach überfordert, so dass die fehlende Energie über das vorhandene kleine Dieselaggregat erzeugt werden musste. Mit ihm wurde neben einem Ladegerät für die Batterien ein Teil der o.g. Verbraucher direkt versorgt, was mit entsprechend langen Laufzeiten und damit einhergehenden, störenden Umweltbelastungen (Lärm, Geruchsbelästigung etc.) verbunden war. Da bei Umsetzung der geplanten Maßnahmen die neu zu errichtende Abwasserreinigungsanlage (Abwasserpumpen) zusätzlich mit Strom zu versorgen war, musste die Energieerzeugung erweitert werden. Ziel war dabei der Verzicht auf Dieselbetrieb, so dass man sich für den Aufbau eines Hybridsystems aus einer größeren Photovoltaikanlage und einem mit Pflanzenöl betriebenen Aggregat entschied.

Datenmaterial zur elektrischen Energieversorgung, zu Energieverbrauchern und zur Energiekonzeption ist in der „*Energiestudie der Brunnenkopfhäuser*“ in Anhang A1 abgebildet.

2.1.1 Elektrische Energie

Im Rahmen der Umbaumaßnahmen wurde die bestehende Photovoltaikanlage um 22 Solarmodule Typ Kyocera KC 125V erweitert, so dass nun insgesamt 30 Module mit einer Gesamtleistung von 3,55 kW zur Verfügung stehen. Die Solarmodule sind auf dem mit 25 Grad gegen Süden geneigten Blechdach der Brunnenkopfhütte installiert und entsprechend gegen Überspannungsschäden (Blitzschlag) gesichert. Die Montage der elektrischen Installationen (Schaltschrank mit Solarregler Typ Uhlmann SLR 145, Sicherungen etc.) erfolgte im Werkstattkeller der Hütte, in dem auch die Solar-Batterien (12 Zellen à 2 V, OPZs 1.000 Ah, 24 Vdc) untergebracht sind. Ebenfalls erneuert werden musste ein Teil der Verkabelung im Lagerkeller und Vorratsraum. Die auf 24 V Gleich-

strom ausgelegte Beleuchtungsinstallation der Hütte konnte man beibehalten. Für die Versorgung der Hütte mit 230 V Wechselspannung (vorwiegend für den Küchenbetrieb) wurde ein neuer kombinierter Wechselrichter und Batterielader mit Generatorstartfunktion (Xantrex Trace SW3024/E, 3300 W Nennleistung) in Betrieb genommen. Der noch funktionsfähige Wechselrichter der alten Anlage versorgt die Pumpen der Abwasserreinigungsanlage mit 230 V Wechselspannung und dient gleichzeitig als redundantes System für den Notfall.

Das neue Stromaggregat (Typ KWE 10P-3, Kenndaten siehe Datenblatt in Anhang A 3) der Fa. KW Energie Technik musste aufgrund seines Gewichts von über 600 kg per Helikopter auf die Hütte transportiert werden. Es ist zusammen mit einem 200 l Pflanzenöl fassenden Treibstofftank ebenfalls im Werkstattkeller installiert. Derzeit dient das Aggregat mit 10 kW als reiner (Not-) Stromerzeuger zur Abdeckung etwaiger Verbrauchsspitzen. Eine Nutzung der Abwärme des Aggregats (z.B. zu Heizzwecken) ist vorerst nicht vorgesehen, wäre aber nach Umrüstung der Anlage möglich.

Die Erweiterung und Modernisierung der Photovoltaikanlage ermöglicht nun eine stabile Stromversorgung und einen weitgehend störungsfreien Betrieb der elektrischen Verbraucher. Der pflanzenölbetriebene Stromerzeuger überzeugt neben seiner Zuverlässigkeit vor allem durch seine Laufruhe sowie seine geringen Emissionen. Sowohl die Photovoltaikanlage als auch das Aggregat arbeiten bei geringstem Wartungsaufwand (i.d.R. nur regelmäßige Sichtkontrolle) seit ihrer Inbetriebnahme äußerst zuverlässig. Das Aggregat wurde nach gut 2 Jahren und bisher insgesamt 600 Betriebsstunden im Frühjahr 2008 durch den Hersteller erstmalig routinemäßig gewartet. Der mittlere Verbrauch an Pflanzenöl liegt bei ca. 250 l pro Saison. Durch die größere Auslegung der neuen Photovoltaikanlage konnten die notwendigen Laufzeiten des Aggregats im Vergleich zu früher erheblich gesenkt werden.

2.1.2 Thermische Energie

Die Brunnenkopfhütte wird vorwiegend mit Holz beheizt. Im Gastraum ist ein großer Kachelofen vorhanden; in der Küche wird auf einem Wamsler Holzherd mit Backrohr sowie einem 4-flammigen Gasherd mit Backrohr gekocht, so dass hier kein weiterer Heizbedarf besteht. Die Privaträume der Wirtsleute liegen gegen Süden. Sofern hier geheizt werden muss, ist ein Gasbeistellofen vorhanden.

Die Warmwasserbereitung auf der Hütte erfolgt weiterhin mittels Holzkochherd und Gasherd. Gelegentlich kann auch ein elektrischer Warmwasserbereiter zugeschaltet werden, damit das Personal sich die Hände waschen kann. Seit 2007 steht für das Hüttenpersonal im Waschhäuschen eine Dusche zur Verfügung; die Warmwasserbereitung erfolgt auch hier über einen elektrischen Boiler, der über die Solaranlage betrieben werden kann.

Der Brennstoffverbrauch pro Saison liegt bei ca. 3 Flaschen Gas à 33 kg und rund 10 Ster (m³) Holz.

2.2 Wasserversorgung

Das Trinkwasser der Brunnenkopfhäuser wird an einer gering schüttenden Quelle einige Höhenmeter oberhalb der Hütte gewonnen, in einem 50 l Schacht gefasst und von dort in den Keller der Hütte geleitet. Hier wurde es ursprünglich in zwei Kunststoffbehältern à 2.000 l zwischengelagert und bei Bedarf über einen Keramikfilter der Fa. Katadyn in einen ca. 1.200 l fassenden Edelstahlbehälter ca. 10 Höhenmeter oberhalb der Hütte gepumpt. Von dort wird das Trinkwasser bei ausreichendem hydrostatischem Druck zu den Entnahmestellen (Küche, Waschraum, Selbstversorgerhütte) geleitet. Der durchschnittliche Wasserverbrauch beträgt ca. 0,5 m³ pro Tag.

Da in Zeiten längerer Trockenphasen regelmäßig Wasserknappheit auftrat, wurde im Zuge der Umbaumaßnahmen ein zusätzlicher Speicherbehälter mit 1.000 l Fassungsvermögen installiert, so dass nun rund 5.000 l Wasser im Keller bevorratet werden können. Die alte Katadyn-Filteranlage wurde durch eine moderne DVGW zertifizierte UV-Desinfektionsanlage mit vorgeschalteter Mikrofiltration ersetzt. Im Zuge des zeitgleichen Küchenumbaus erfolgte eine fast vollständige Erneuerung des Trinkwasser-Leitungsnetzes.

Mit der neuen UV-Entkeimungsanlage entspricht die Trinkwasseraufbereitung nun auch den aktuellsten Hygienevorschriften und alle bisher entnommenen Wasserproben wiesen sehr gute Analytwerte auf. Probleme bereitete in letzter Zeit noch die relativ hohe Schwebstofffracht im Quellwasser, die den vorgeschalteten Feinfilter der Anlage schnell zusetzt. Hier wird derzeit versucht mit anderen Filterausführungen längere Standzeiten zu erzielen.

Leider hat sich zu Beginn der Saison 2008 die Situation dahingehend dramatisch verschlechtert, dass die Schüttung der bisher genutzten Quelle, westlich der Brunnenkopfhütte zeitweise nahezu vollständig zum Erliegen gekommen ist. Die Gründe hierfür sind unklar zumal in diesem Falle keine extremen Trockenperioden dafür verantwortlich gemacht werden können. Da die Existenz der Hütte entscheidend von der Wasserversorgung abhängt, wird aktuell geplant, eine zweite Quelle einige Höhenmeter nordöstlich unterhalb der Hütte zu fassen. Das Wasser müsste dann in einem kleineren Zwischenbehälter gesammelt und über ca. 15 Höhenmeter zur Hütte in die Kellertanks gepumpt werden. Dabei sollte die hierfür eingesetzte Pumpe (Kolbenpumpe) idealerweise über die Photovoltaikanlage betrieben werden können. Mit der Planung und Dimensionierung der Anlage wurde das Ing.-Büro Berger beauftragt; die Maßnahme soll noch im Jahr 2008 umgesetzt werden.

2.3 Sanitäre Anlagen

Die sanitären Anlagen bestehen aus einem Toiletten- und einem Waschküchen, die sich in einem Abstand westlich der Brunnenkopfhütte befinden.

Das ursprüngliche Holzhäuschen mit 3 Toilettensitzen war auf ein beckenförmig gemauertes Fundament aufgesetzt. Die Fäkalien fielen durch die Plumpsklos in das Becken

und wurden je nach Bedarf in unregelmäßigen Abständen in einen angrenzenden Graben entleert. Auch das Schmutz- und Grauwasser aus dem Küchenbetrieb gelangte unbehandelt ins Freie und versickerte im klüftigen Hauptdolomitgestein unterhalb der Hütte.

Abgesehen von der nicht mehr zeitgemäßen Art und Weise der „Entsorgung“, war die Toilettenanlage altersbedingt in schlechtem baulichem Zustand und zeichnete sich vor allem bei sommerlichen Temperaturen durch eine sehr starke Geruchsentwicklung aus. Seitens der Gesundheitsbehörden wurde der hygienische Zustand mehrmals beanstandet und schließlich eine neue umweltgerechte Entsorgungslösung mit neuen Baulichkeiten gefordert. Im Zuge der Sanierungsmaßnahmen errichtete man eine neue Einhausung mit 3 Komposttoiletten und einem wasserlosen Urinal (Fa. Hellbrok) mit Geruchsverschluss. Nach dem Rückbau der alten Anlage, wurden die bestehenden alten Fundamente leicht modifiziert für den Neubau wiederverwendet, so dass zusätzlicher Transportaufwand von Baumaterial vermieden werden konnte. Installiert wurden 3 Komposttoiletten des Typs „Terra Nova 75 - PE“ der Firma Berger Biotechnik GmbH Hamburg (siehe auch www.berger-biotechnik.de). Es handelt sich dabei um ein biologisches Trockentoiletensystem mit interner Kompostierung, dass sich bereits auf anderen Hüttenstandorten gut bewährt hat. Unter jedem Toilettensitz befindet sich ein 2-Kammersystem in dem das Material getrennt behandelt und kompostiert werden kann. Anfallende Sickerwässer und Urin werden weitestgehend getrennt und zusammen mit den Gelbwässern aus dem Urinal der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt.



Abb. 2: Kompostentnahme aus den Trockentoiletten

Es zeigte sich, dass die Komposttoiletten von Beginn an sehr gut funktionierten und eine wesentliche Verbesserung zum ursprünglichen Zustand darstellen. Durch eine ständige passive Entlüftung der Kompostbehälter wird die Geruchsbelästigung in den Toiletten auf ein Minimum reduziert. Optional ist auch eine aktive Entlüftung über integrierte elektrische Ventilatoren möglich. Voraussetzung für einen weitgehend geruchsfreien Betrieb des Systems ist die regelmäßige, bei starker Frequentierung der Anlage auch tägliche Pflege des Inhaltes der Kompostbehälter. Hierzu gehört die Zugabe von Strukturmittel (Rindenschrott, Holzhäcksel, Sägespäne etc.) sowie die Durchmischung und Umschichtung des Kompostmaterials, um bei guter Durchlüftung optimale Kompostierbedingungen zu schaffen. Wenn der Kompostiervorgang entsprechend weit fortgeschritten ist, wird das Material aus der Nachrottekammer in einen handelsüblichen Gartenkomposter aus Kunststoff umgesetzt, um dort weiter zu kompostieren. Dabei kommt es je nach Lagerungsdauer nochmals zu einer erheblichen Reduktion der Kompostmasse. Nach bisherigen Erfahrungen fallen pro Saison ca. 500 Liter (Frisch-)Kompost an, der nach entsprechender Lagerungsdauer nochmals auf weniger als die Hälfte reduziert.

Da die Komposterde gemäß den Bescheidsvorgaben der Kreisverwaltungsbehörden aus Naturschutzgründen nicht ins Freie ausgebracht werden darf, ist vorgesehen, das Material in stabilen Transportsäcken verpackt ins Tal zu verbringen und dort fachgerecht zu entsorgen. Entsprechende Entsorgungsnachweise sind seitens des Hüttenbetreibers regelmäßig vorzulegen.

2.4 Abwasserentsorgung

Zur Behandlung aller anfallenden Abwässer (Urin und Sickerwässer aus den Komposttoiletten, Abwässer aus der Küche und den Waschgelegenheiten) wurde eine Abwasserbehandlungsanlage bestehend aus Sammel- und Beschickungsschächten, zwei seriell beschickten Bodenfiltersystemen mit Rezirkulationseinheit und einem Ablauf- und Kontrollschacht errichtet. Die Planung und Konzeption der Anlage erfolgte durch die Ingenieurgemeinschaft Dr.-Ing. D. Schreff (Irschenberg) und Dipl.-Ing. M. Berger (Starnberg), [BS03]. In der nachfolgenden Anlagenbeschreibung sind die aus der „*Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Abwasserreinigungsanlage Brunnenkopfhäuser*“ (siehe Anhang A2) entnommenen Textpassagen im Text kursiv dargestellt.

Abwasseranfallstellen

Die Hüttenküche ist mit einer Industriespülmaschine ausgestattet. Ein Warmwasserboiler existiert nicht. Die Speisekarte weist ein reduziertes Angebot auf, so dass auch der Umfang der fetthaltigen Gerichte begrenzt ist. Ein separater Fettabscheider ist deshalb nicht vorgesehen. Die Fettabtrennung kann im ersten Sammelschachts erfolgen. Durch

die Installation von Einlaufsieben wird der Anteil von Feststoffen im Küchenabwasser begrenzt.

Die Waschelegenheiten befinden sich außerhalb der Hütte in einem wettergeschützten Anbau. Dort ist auch eine Dusche installiert, die jedoch nur mit kaltem Wasser versorgt wird. Auch die dort anfallenden, gering belasteten Grauwässer werden der neuen Abwasserbehandlung zugeführt.

Die Toilettenanlagen werden auch zukünftig als Trockentoiletten ausgeführt, die eine fachgerechte Kompostierung der Fäkalien erlaubt. Die Sickerwässer werden der neuen Abwasserbehandlung zugeführt. Ein separates Urinal wird zusätzlich errichtet.

Zukünftig werden auch die Abwässer (nur Spülwasser aus Küche) aus dem benachbart gelegenen Selbstversorgerhaus der neuen Abwasserbehandlungsanlage zugeleitet. Diese Abwässer fallen nur in sehr geringen Mengen an.

Beschreibung des Verfahrenskonzepts

Grundkonzept

Das Objekt „Brunnenkopfhäuser“ zeichnet sich durch extreme Wasserknappheit aus. Aus diesem Grund werden anstelle von Toiletten mit Wasserspülung Komposttoiletten und ein Urinal mit Direktabfluss eingesetzt. Diese Abwässer („Schwarz- und Gelbwässer“) sind entsprechend hoch konzentriert; fallen aber in sehr kleinen Mengen an.

Auch die Abwässer aus der Küchen und von den Waschplätzen („Grauwässer“) sind aufgrund des geringen Wasserangebots überdurchschnittlich hochkonzentriert, jedoch ohne erhöhte Belastung mit Fetten oder Feststoffen zu erwarten.

Für die Behandlung dieser Abwässer wird eine zweistufige Filteranlage mit Kreislauführung vorgesehen.

In der Komposttoilette werden über 50 % der organischen Belastung in Form von Feststoffen zurückgehalten. Diese werden nach entsprechender Stabilisierung in unterschiedlichen Kammern periodisch geräumt. Aus diesen Kammern fließt somit lediglich das hochbelastete Sickerwasser ab.

Diese werden zusammen mit den anderen Teilströmen (Urinal und Grauwasser) zur Vergleichmäßigung in einem Sammelschacht geführt. In diesem werden auch die Leichtstoffe (Fett, Seifenschaum, etc.) sowie die wenigen absetzbare Bestandteile zurückgehalten, die bedarfsweise geräumt werden können.

In den Schacht 1 wird gereinigtes Abwasser aus dem Ablauf der Anlage (Rezirkulation) zurückgepumpt, um einen Belastungsausgleich zu erreichen sowie Konzentrationsspitzen zu dämpfen. So kann die Betriebsstabilität des Systems erhöht und eine ausgeglichene Belastung der Biomasse gewährleistet werden.

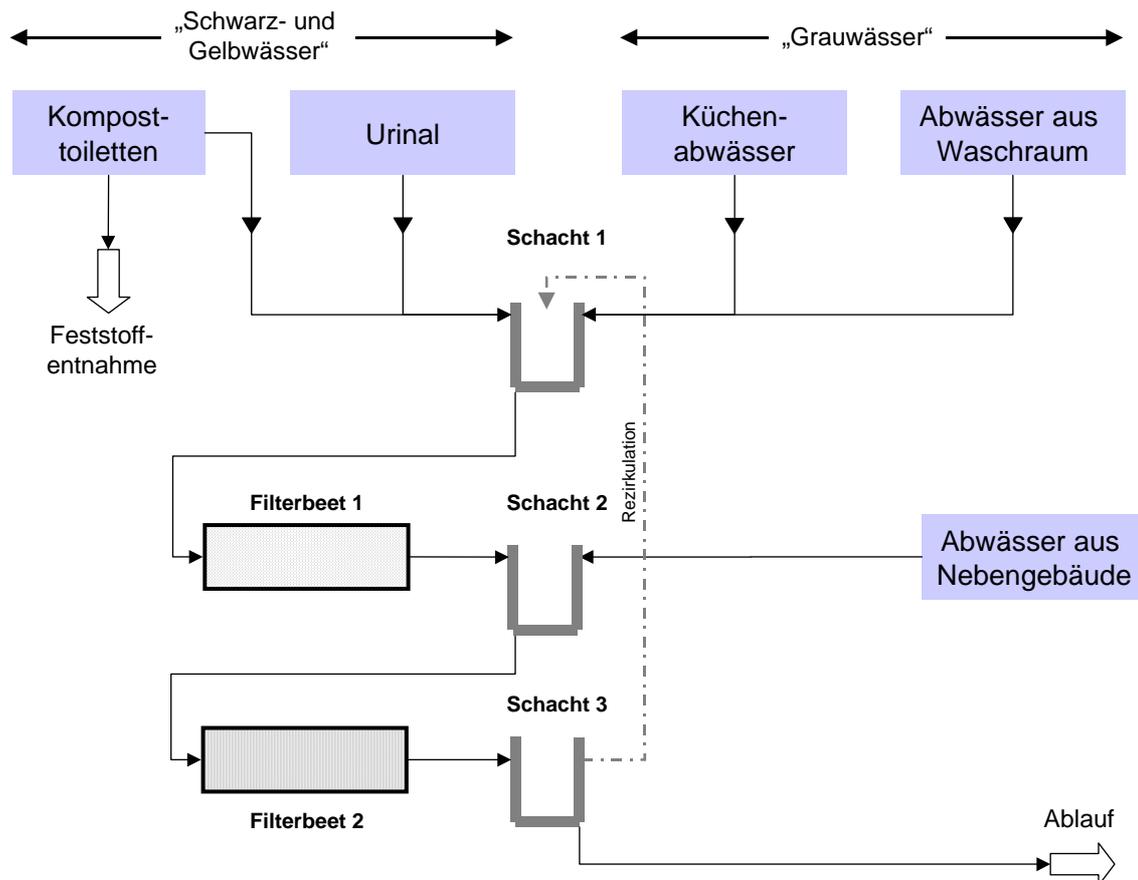


Abb. 3: Blockfließbild der Abwasserbehandlung „Brunnenkopfhäuser“

Zweistufiges Bodenfiltersystem

Bodenfilter stellen naturnahe Systeme dar, in dem die Abwässer mit Hilfe der intensivierten „natürlichen Selbstreinigungskraft des Bodens“ gereinigt werden. Sie sind den klimatischen Bedingungen stärker ausgesetzt als technische Lösungen. Aus diesem Grund ist ihre Anwendung als biologische Stufe nur bis zur Vegetationsgrenze und für saisonal bewirtschaftete Systeme sinnvoll. Insbesondere wenn elektrische Energie nur in begrenztem Umfang zur Verfügung steht. Die Betriebsstabilität wird durch geringe spezifische Belastungen erreicht.

Für die biologische Reinigung der Abwässer aus dem Objekt „Brunnenkopfhäuser“ ist ein zweistufiges Bodenfiltersystem vorgesehen. Der Standort ist für die Anwendung dieses Systems geeignet, da unterhalb der Hüttenstandorte ausreichende Flächen ohne extremes Gefälle vorhanden sind. Die Anlage lässt sich dort gut in das Landschaftsbild einpassen. Im Winter sind keine nennenswerten Belastungen zu erwarten. Die Ausführung der beiden Bodenfilterstufen erfolgt analog dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 262 (Juli 1998) mit Folienabdichtung.

Zur Vermeidung einer Bodenverschlämmung (Kolmation) wird die erste Bodenfilterstufe mit grobkörnigem Filtermaterial (16/32 mm) gefüllt. Durch die vertikale Durchströmung und die schwallweise Beschickung aus dem Schacht 1 werden eine ausreichende Sauerstoffversorgung und damit bereits ein weitgehender Abbau der organischen Verbindungen erzielt.

Im Schacht 2 wird der kleine Abwasserteilstrom aus dem Nebengebäude mit dem teilgereinigtem Abwasser aus dem Bodenfilter 1 vermischt, bevor die Gesamtmenge schwallweise auf die zweite Bodenfilterstufe gegeben wird. Dies wird mit einer feinsandigen Kiesmischung (0/4 bzw. 4/8 mm) gefüllt, da hier bereits deutlich verringerte Schmutzkonzentrationen zu erwarten sind. In dieser Stufe wird aufgrund der geringen Belastung ein weitestgehender Abbau der organischen Belastung erreicht. Eine Bepflanzung dieser Stufe mit standortgerechten Arten ist vorgesehen, um die Synergieeffekte des Pflanzenwachstums im Boden nutzen zu können.

Auslegung der Filteranlage

Anforderungen an die Reinigungsleistung

Die geplante Kläranlage gilt als Kleinkläranlage nach DIN 4261 mit einem Abwasseranfall von weniger als 8,0 m³/d bzw. weniger als 50 EW Belastung. Entsprechend der Abwasserverordnung, Anhang 1 in der Fassung vom August 2002 sind die Werte der Größenklasse 1 (bis 1.000 EW) im Ablauf der Kläranlage einzuhalten:

$$CSB < 150 \text{ mg/l und } BSB_5 < 40 \text{ mg/l}$$

Die neuen Technischen Regeln für Kleinkläranlagen sind nach derzeitigem Stand anzuwenden.

Abwasseranfall und Abwassercharakteristik

Analog den Bemessungsgrundlagen des ÖWAV-Regelblatts 1 für den spezifische Abwasseranfall bzw. die spezifische BSB₅-Fracht ergibt sich umgerechnet eine Maximalbelastung von 40 EW bzw. von 13 EW im Saisonmittel für das Bodenfiltersystem. Unter Berücksichtigung der Versorgungssituation beträgt der rechnerische Abwasseranfall bis zu 960 l/d (Spitzentage) bzw. bis zu 320 l/d im Saisonmittel (Aufzeichnungen über den Wasserverbrauch liegen nicht vor).

Anhand von Abwasseranalysen, die im Jahr 1999 im Rahmen einer Diplomarbeit der Technischen Universität München durchgeführt wurden, weisen maximale Konzentrationen von 1.500 mg/l BSB₅ für die Grauwässer aus. Für das Sickerwasser aus den Komposttoiletten und dem Urinal sind maximale Konzentrationen von 6.000 mg/l BSB₅ zu erwarten.

Die aus den tatsächlichen Werten zu erwartende Maximalbelastung von 35 EW bzw. 10 EW im Saisonmittel, liegt aufgrund des sehr geringen Komfortgrades des Objekts geringfügig niedriger als nach dem o.g. ÖWAV-Regelblatt 1. Für die Bemessung des

neuen Abwasserbehandlungssystems werden daher die beiden in Tabelle 1 dargestellten Lastfälle angesetzt.

Tabelle 1: Bemessungsgrundlagen für die beiden maßgebenden Lastfälle

Lastfall		Maximal	Saisonmittel
Belastungswert	EW	35	10
Abwasseranfall, gesamt	l/d	960	320
davon:			
Sickerwasser / Urin	l/d	120	20
Küche / Waschplätze	l/d	840	300
BSB ₅ -Konzentration im			
Sickerwasser / Urin	mg/l	6.000	
Küche / Waschplätze	mg/l	1.500	

Aufgrund des sehr geringen Wasserverbrauchs resultieren extrem hohe Verschmutzungskonzentrationen (1.800 bis 2.100 mg/l BSB₅) auch nach der Mischung der Teilströme. Eine ausreichende Verdünnung durch die Rückführung von gereinigtem Abwasser im Mindestverhältnis 2:1 ist daher wesentlich für die Reinigungsleistung und die dauerhafte Funktionstüchtigkeit der Anlage. Angestrebt werden Konzentrationen unterhalb 800 mg/l BSB₅.

Beschreibung der neuen Abwasseranlage

Schacht 1: Sammlung und Mischung von beiden Teilströmen „Sickerwasser/ Urin“ und „Küche / Waschplätze“, Abtrennung von absetzbaren Bestandteilen und Fettabscheidung, Beschickungseinrichtung zur intervallweisen Schwallbeschickung des nachgeschalteten Filterbeets 1 mittels Abwassertauchpumpe oder Heber.

Bodenfilter 1: Bodenfilter mit grobkörnigem Material (16/32) zur Vorreinigung auf etwa 65 bis 80 % BSB₅-Elimination

Schacht 2: Sammlung des teilgereinigten Abwassers aus Beet 1 und Zuführung des weiteren kleinen Teilstroms aus dem Selbstversorgerhaus, Beschickungseinrichtung zur intervallweisen Schwallbeschickung des nachgeschalteten Filterbeets 2 mittels Abwassertauchpumpe oder Heber

Bodenfilter 2: Bodenfilter mit feinem Filtermaterial (Sand-Riesel-Mischung) zur Hauptreinigung auf etwa 90 bis 95 % BSB₅-Elimination (gesamt)

Schacht 3: Sammlung des gereinigten Abwassers aus Beet 2 zur Sichtkontrolle und Probenahme, intervallweise Rückführung von gereinigtem Abwasser in Schacht 1 (Rezirkulation) mittels Abwassertauchpumpe.

Ergebnisse der Anlagenbemessung

Für die Auslegung des Bodenfiltersystems wurden die tatsächlichen BSB₅-Frachten incl. Kreislaufführung unter Berücksichtigung der spezifischen Belastungsverhältnisse in den beiden Stufen angesetzt (vergl. Anhang 1).

Nach ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 262 ist für vertikal durchströmte Bodenfilter eine spezifische Fläche von 2,5 m²/EW erforderlich. Für eine Maximalbelastung von 35 EW ergibt sich somit eine erforderliche Gesamtfläche von 87,5 m². Den hohen Konzentrationen wird durch einen Aufschlag von 10 % Rechnung getragen, so dass sich eine Gesamtfläche von 95 m² ergibt.

Die Aufteilung der Gesamtfläche auf die beiden Stufen erfolgt anhand der BSB₅-Flächenbelastungen. In Filterstufe 1 bleibt diese unter 0,6 g BSB₅/m² d (bei einer spezifischen Fläche des Filtermaterials von 90 m²/m³), so dass eine Reinigungsleistung von etwa 70 % erreicht wird.

Die zugehörige Filterfläche beträgt somit 45 m² bei einer Tiefe von 85 cm. Trotz der vergleichsweise hohen Flächenbelastung ist aufgrund des grobkörnigen Materials keine Beeinträchtigung der Durchlässigkeit zu befürchten.

Die BSB₅-Flächenbelastung der Filterstufe 2 bleibt unter 0,1 g BSB₅/m² d (bei einer spezifischen Fläche des Filtermaterials von 150 m²/m³), so dass eine Reinigungsleistung von etwa 95 % erreicht wird. Die zugehörige Filterfläche beträgt somit 49 m² bei einer Tiefe von 85 cm. Aufgrund der sehr geringen Flächenbelastung ist auch bei dem gewählten feinkörnigen Filtermaterial eine lange Standzeit möglich.

Bei der gewählten Aufteilung liegt die hydraulische Beschickung beider Bodenfilter über 60 l/m² d. Das Abwasser wird dabei vier- bis sechsmal pro Tag schwallweise auf die Filter verteilt.

Die beschriebene Abwasserbehandlungsanlage wurde im Sommer/Herbst 2005 planungsgemäß errichtet und ab Frühjahr 2006 in Betrieb genommen. Als Standort für die künftigen Filterbeete bot sich ein Südwest exponiertes, leicht kuptiertes und nicht zu steiles Hanggelände unterhalb der DAV-Brunnenkopfhütte an. Die Bodenverhältnisse waren durch geologische Untersuchungen weitgehend bekannt (Zwicker 2001) und man wusste, dass im Untergrund ein stark geklüftetes, teils breckziertes Dolomitgestein (Hauptdolomit der alpine Trias) ansteht, das bei seiner Verwitterung in kleine Bruchstücke zerfällt. Im Vorfeld durchgeführte Korngrößenanalysen dieses Gesteinsbruchs ergaben, dass der größte Teil des aus den Bereichen der künftigen Pflanzenbeete entnommenen Bodenaushubs später als Filtermaterial wieder verwendet werden konnte. Dadurch sparte man sich den aufwändigen und teuren Transport von zusätzlichem Filtersubstrat

und musste nur relativ wenig ortsfremdes Material beim Bau der Anlage verwenden. Vor dem Wiedereinbau wurde der Gesteinsbruch in zwei Korngrößenfraktionen gesiebt und zusammen mit Blähtonkugeln der Körnung 8-16 mm (Beet 1; ca. 10 m³) bzw. 4-8 mm (Beet 2; ca. 8 m³) verfüllt.

Für die Tiefbaumaßnahmen im Hanggelände kam ein geländegängiger Spezialbagger (Schreitbagger) mit Tieflöffel bzw. Hydraulikmeißel zum Einsatz. Nach dem Setzen der Schachtanlagen und dem Verlegen der Rohrleitungen wurden zwei ca. 1 m tiefe und rund 45 m² große Becken ausgehoben.



Abb. 4: Aushub der Becken für die Filterbeete

Der nachfolgende Ausbau der Filterbeete erfolgte in folgenden Schritten:

1. Felsuntergrund der Becken mit Geotextil / Schutzvlies auslegen;
2. darüber Basisabdichtung aus wurzelfester Teichfolie (1,5 mm);
3. Verlegen der Sohl drainage-Rohre auf der Folie;
4. Schüttung des Filtermaterials (Dolomitbruch/Ton; Beet 1: 8-16 mm; Beet 2: 4-8 mm)
5. Verlegung des Rohrsystems für die oberflächennahe Schwallbeschickung;
6. Abdeckung der Rohrleitungen;
7. Begrünungsmaßnahmen der Beetränder.



Abb. 5: Einbau des Filtermaterials

Die Einlaufschächte der beiden Beete wurden jeweils mit elektrischen Schmutzwasserpumpen bestückt, um die Filterbeete schwallweise mit Wasser zu beaufschlagen. Durch eine Pumpe im Ablaufschacht, kann das bereits gereinigte Wasser erneut in den Einlaufschacht 1 gepumpt und so rezirkuliert werden (siehe Abb. 2).

Da sich in den ersten Monaten nach Inbetriebnahme zeigte, dass es durch die Küchenabwässer doch zu erheblichen Fettablagerungen in den beiden ersten Schächten kam, wurde der Abwasser-Sammelschacht im Zulauf der Anlage als Fettabscheider umgebaut. Dadurch kann nun ein störender Fetteintrag in den ersten, grobkörnigen Bodenfilter weitgehend verhindert werden.

Der zweite, mit feinkörnigerem Material verfüllte Bodenfilter neigte anfänglich zur oberflächlichen Pfützenbildung, was durch eine Freilegung der Drainageleitung und erneutem Einbau mit homogenisiertem Filtermaterial (Blähtonkugeln / Dolomit-Gesteinsbruch) behoben werden konnte.

Seit ihrer Inbetriebnahme wird die Anlage regelmäßig beprobt. Die Probenahme erfolgt jeweils in den beiden Einlaufschächten der Beete 1 und 2 sowie im Ablaufschacht der Anlage. Obwohl die Abwässer z.T. sehr hohe CSB-Spitzenbelastungen von bis zu 4.600 mg/l im Einlauf (Kontrollschacht 1) aufweisen, erreicht die Kläranlage eine ausgezeichnete Reinigungsleistung und mit einem CSB von 69 mg/l sehr gute Ablaufwerte. Die für Kleinkläranlagen vorgegebenen maximalen Ablaufwerte von CSB < 150 mg/l und BSB₅ < 40 mg/l werden hierbei deutlich unterschritten.

Abgesehen von einer regelmäßigen Sichtkontrolle und turnusmäßigen Beprobung der Anlage bedarf es, mit Ausnahme der Reinigung des Fettabscheiders, keines größeren Pflegeaufwandes.



Abb. 6: Filterbeete der Abwasserreinigungsanlage
(ein Jahr nach Errichtung)

3. Fazit

Die im Rahmen des DBU Projekts „Brunnenkopfhäuser“ konzipierten Umbau- und Sanierungsmaßnahmen konnten in den Jahren 2005- 2008 innerhalb des veranschlagten Kostenrahmens, plangemäß umgesetzt werden und haben sich nach nur kurzer Anlaufphase im praktischen Betrieb bestens bewährt. Durch die Erweiterung der Stromversorgung, die Abschaffung des alten Dieselaggregates, die Optimierung der Trinkwasserbehandlung sowie der Errichtung der neuen Abwasserbehandlungsanlage wird eine deutliche Verbesserung der ökologischen und hygienischen Situation auf den Brunnenkopfhäusern erreicht. Zwar hat sich in manchen Bereichen der Pflegeaufwand für den Hüttenbetreiber z.B. durch die notwendige regelmäßige Wartung der Komposttoiletten erhöht, dem gegenüber steht jedoch die wesentlich verbesserte, umweltgerechte Entsorgung der Abwässer und nicht zuletzt der gestiegene Komfort für die Hüttenbesucher.

Das Projektziel, für den sensiblen Hüttenstandort eine umwelt- aber auch praxisgerechte Ver- und Entsorgungslösung zu finden und umzusetzen wurde erreicht.

Literaturverzeichnis

- [Ber03] BERGER, M.: *Energiestudie der Brunnenkopfhäuser der Sektion Bergland des DAV e.V.*; Endbericht, Starnberg, 2003.
- [BS03] BERGER, M. und SCHREFF, D.: *Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Abwasserreinigungsanlage Brunnenkopfhäuser*; Endbericht, 2003.
- [Men08] MENZ, V.: "Umwelttechnik für alpine Berg- und Schutzhütten - Hintergrundwissen, Tipps und Beispiele aus der Praxis". Digel, Roland; Heidenreich, Franz-Peter; Schötz, Dirk (Hrsg.); 1. Auflage, Bergverlag Rother, München, 2008.
- [Zwi99] ZWICKER, A.: *Deckenbau und gravitative Massenbewegungen im Ammergebirge zwischen Klammspitz und Pürschling (Bayerische Alpen)*; Diss. Techn. Univ. München, 140 S., 26 Abb., 5 Anl.; Hieronymus, München, 1999.

Anhänge

A 1: Energiestudie der Brunnenkopfhäuser der Sektion Bergland des DAV e.V.

A 2: Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Abwasserreinigungsanlage
Brunnenkopfhäuser

A 3: Kenndaten Aggregat