



UNIVERSELL EINSETZBARE TURBINE FÜR WASSERVERSORGUNGEN

Jahresbericht 2007

Autor und Koautoren	Bruno Schindelholz, Peter Spescha
beauftragte Institution	<i>stiftung revita</i>
Adresse	Schwengiweg 12
Telefon, E-mail, Internetadresse	062 387 31 34, bruno.schindelholz@revita.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	102033/152529
BFE-Projektleiter	Bruno Guggisberg
Dauer des Projekts (von – bis)	1.3.2007 – 31.1.2009
Datum	14.11.2007

ZUSAMMENFASSUNG

Dank der Unterstützung durch das Bundesamt für Energie und dem Verein FESUM konnte die Entwicklung der Universalsturbine weiterverfolgt werden. Dabei wurden folgende Schwerpunkte behandelt.

Wellendichtung

Das Funktionsmuster einer einstellbaren, hydrodynamischen Wellendichtung wurde hergestellt und in die Versuchsturbine eingebaut. Die Versuchsergebnisse entsprachen unseren Vorstellungen. Das System wurde im Labor getestet, ist luftdicht und der hydrodynamische Schmiereffekt wird erreicht. Anfang 2008 wird mit der Versuchsturbine ein mehrmonatiger Dauertest in der Wasserversorgung von Crémines (BE) gefahren.

Druckregelung

In Anwendungsfällen ohne Druckausgleich muss der Turbinendurchfluss dem Verbrauch angepasst werden, damit ein konstanter Versorgungsdruck aufrechterhalten werden kann. Ein elektronischer und ein überarbeiteter hydropneumatischer Regler wurden an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) mit der Versuchsturbine getestet. Die Versuche zeigen, dass die Regelung möglich ist, für die Praxisanwendung ist aber die Weiterentwicklung notwendig.

Lufteintrag und Regelung

Bei den Anwendungsfällen, in denen die Druckregelung zur Anwendung kommt, muss auch der Luftereintrag geregelt werden, damit nicht zuviel Luft in die Wasserversorgung gelangt. Dazu werden die Grenzwasserstände mit zwei Kapazitivsensoren erfasst und die Strahlpumpe nach Bedarf zugeschaltet. Die an der FHNW aufgebaute Regelung funktioniert zufriedenstellend. Die Variante mit einem Entlüftungsventil wird noch geprüft.

Industriepartner

Mit der Küffer AG konnte ein kompetenter Industriepartner gefunden werden. Die Küffer AG beteiligt sich mit eigenen Mitteln, vor allem in Marketing und Konstruktion, an diesem Projekt.

Entwicklung neuer Turbinenreihe (Typisierung)

Bei der Typisierung konnte für die unterschiedlichen Anforderungen ein Turbinentyp gefunden werden, der mit wenigen Anpassungen auf den jeweiligen Standort eingestellt werden kann. Mit nur einer Turbinengrösse können ca. 80% der Potenziale in Wasserversorgungen mit gutem Wirkungsgrad genutzt werden. Dank dieser einheitlichen Baugrösse kann die Turbine seriell hergestellt werden.

Projektziele

Bedeutung des Projekts

Das Ziel ist die Entwicklung einer universell einsetzbaren Turbine für Wasserversorgungen, die im Normalen- und vor allem auch **im Gegendruckbereich** z.B. anstelle von Druckreduzierventilen eingesetzt werden kann. Sie wandelt Druckreduzierenergie in elektrische Energie um. Die Turbine weist einen hohen Wirkungsgrad auf, dämpft Druckstösse im Leitungsnetz und ermöglicht eine Durchfluss- und Druckregelung. Dank einer, nach Berechnung optimalen Baugrösse und einem modularen Aufbau kann sie seriell hergestellt werden. Mit wenig Aufwand lässt sie sich den standortspezifischen Anforderungen anpassen. Dadurch lassen sich die Projektierungs- und Herstellkosten wesentlich senken. Das Ziel ist ein wirtschaftlicher Einsatz ab 5 kW. Vor allem in Berggebieten sind Potenziale im Gegendruckbereich vorhanden, für deren Nutzung eine geeignete Turbine bisher nicht erhältlich war.

Potenzialstudien über die nutzbare Druckreduzierenergie in geschlossenen Wasserversorgungssystemen sind unseres Wissens nicht vorhanden. In der DIANE Studie von 1994 wurde für offene Systeme an 325 Standorten in der ganzen Schweiz ein Ausbaupotenzial von 122 GWh/a errechnet. Reservoirüberläufe **und geschlossene Systeme** sind darin nicht enthalten. Aufgrund der bisher gemachten Erfahrungen schätzen wir das Ausbaupotenzial in geschlossenen Systemen noch einmal in dieser Grössenordnung.

Systembeschreibung

Ein Pelton- Laufrad in einem Druckluftpolster innerhalb des Turbinengehäuses ermöglicht den Einsatz von Pelton- Turbinen in ganz verschiedenen Gegendruckbereichen.

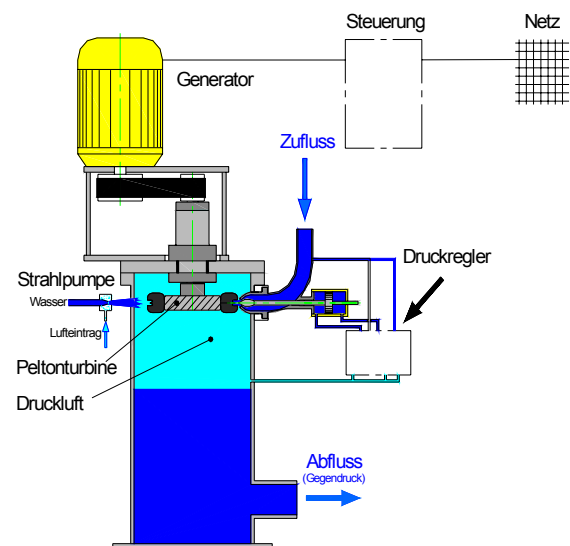
Druckstösse im Leitungsnetz werden dadurch gedämpft und können den Turbinenbetrieb nicht stören. Gleichzeitig wird Flüssigkeitsreibung am Laufrad verhindert und damit der Turbinenbetrieb im Gegendruck überhaupt erst ermöglicht.

Das Druckluftpolster verursacht aber auch Probleme. Einerseits muss die Wellendurchführung luftdicht ausgeführt werden, andererseits wird Luft mit dem abfliessenden Wasser ausgetragen. Die Luftmenge im Druckluftpolster muss dabei erhalten werden.

Das Aufrechterhalten eines Druckluftpolsters innerhalb des Turbinengehäuses ist das zentrale Element des vorliegenden Projektvorhabens. (siehe Bild 1)

Bild 1

Darstellung der Universalturbine schematisch



Daraus ergeben sich folgende wesentlichen Zielsetzungen:

- Die Wellendichtung muss luftdicht und verschleissfrei ausgeführt werden
- Für einen konstanten Versorgungsdruck muss der Durchfluss nach dem Gegendruck geregelt werden
- Ein einfaches Konzept für den Lufteintrag und dessen Regelung ist erforderlich
- Mit einer einheitlichen Baugrösse sollen die Kosten gesenkt und die Energiepotenziale trotzdem effizient genutzt werden können

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Wellendichtung

Die Wellendichtung muss absolut luftdicht, verschleissfrei und möglichst reibungsarm funktionieren. Die Lebensdauer soll zwischen 50'000 und 80'000 Betriebsstunden betragen. Mit handelsüblichen Produkten wie Gleitring- oder PS-Seal Dichtungen können diese Forderungen nicht vollumfänglich erfüllt werden. Aus diesem Grund wurde die Idee einer wassergeschmierten, hydrodynamischen Dichtung genauer untersucht. Berechnungen zeigten, dass eine solche verschleissfreie Dichtung machbar ist. Die Versuchsturbine wurde mit einer solchen Wellendichtung ausgerüstet, und erste Testreihen im Labor und in der Wasserversorgung von Crémines (BE) gefahren.

Bild 2 Aufbau der einstellbaren Wellendichtung

Versuchsaufbau

Zu Testzwecken kann die konisch ausgeführte Wellendichtung (Bild 2) von aussen während des Betriebs, axial verschoben und so das Dichtungsspiel eingestellt werden.

Wasser vom Turbinenzufluss wird über einen Feinfilter und Bohrungen in den Dichtungsspalt eingepresst und baut zusammen mit dem Dichtungsspalt und der Wellenbewegung einen hydrodynamischen Schmierfilm auf. Mit diesem Schmierfilm wird die Wellendichtung luftdicht und verschleissfrei. Eine minimale Leckwassermenge ist vorhanden.

Erste Versuche im Labor und in der Wasserversorgung von Crémines (BE) haben gezeigt, dass die Luftdichtigkeit erreicht wird. Durch verkleinern des Dichtungsspaltess konnte die Leckwassermenge stark reduziert werden. Das Turbinenlaufrad wurde in einer Testreihe ohne Last mit der Durchgangsdrehzahl betrieben. Unterschiede im Reibungsverhalten werden so rasch an der Drehzahl erkennbar. Die Drehzahl wurde laufend mit einer Stroboskoplampe gemessen.

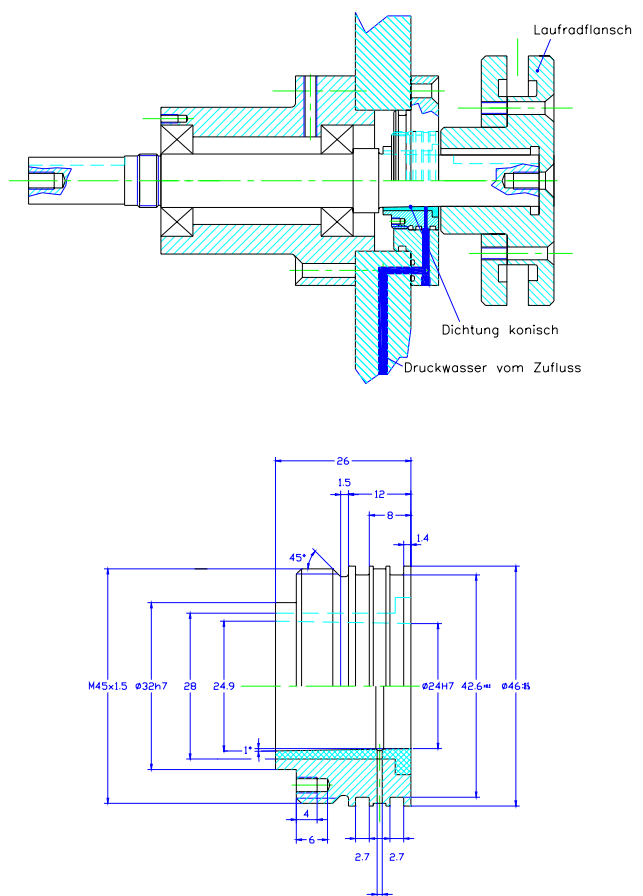


Bild 3 Testergebnisse der Versuche in Crémines (BE)

Testbedingungen

Datum 2.8.2007

Abflussdruck (Gegendruck)

0.5 bar

Dichtungsspiel zu Beginn der Messung

0.02 mm (im Radius)

Übersetzung Spieleinstellung

38.2 U ergibt 0.01 mm im Radius

Dichtungs- einstellung	Veränderung Dichtungsspiel	Dichtungsspiel eingestellt	Leckwasser gemessen	Durchgangs - drehzahl	Dichtungsspiel theoretisch
Umdrehungen	mm	mm	cm ³ /s	U/min.	mm
0	0.00000	0.0200	1.681	2543.5	0.02461
5	-0.00131	0.0187	1.361	2544.5	0.02294
10	-0.00262	0.0174	1.099	2544.5	0.02136
15	-0.00393	0.0161	0.935	2544.5	0.02024
20	-0.00524	0.0148	0.617	2542.0	0.01763
25	-0.00654	0.0135	0.495	2542.0	0.01638
30	-0.00785	0.0121	0.450	2546.5	0.01587
35	-0.00916	0.0108	0.323	2546.5	0.01420
40	-0.01047	0.0095	0.185	2554.0	0.01179
Stillstand der Anlage ca. 2 Std. 1)					
40	-0.01047	0.0095	0.450	2546.0	0.01587
45	-0.01178	0.0082	0.214	2544.0	0.01238
50	-0.01309	0.0069	0.126	2547.0	0.01038
55	-0.01440	0.0056	0.104	2552.0	0.00974
60	-0.01571	0.0043	0.157	2553.0	0.01117

Erfahrungen während dem Testbetrieb

Mit kleiner werdendem Dichtungsspiel reduziert sich erwartungsgemäss die Leckwassermenge, die Drehzahl bleibt nahezu konstant. Das Reibungsverhalten ändert sich mit kleiner werdendem Dichtspalt kaum. Nach dem Unterschreiten vom Dichtungsspiel mit 0.0043 mm verliert die Welle den hydrodynamischen Schmierfilm. Die Welle klemmt sich fest.

- 1) Nach dem zweistündigen Stillstand der Anlage erhöhte sich die Leckwassermenge wieder geringfügig. Wir vermuten, dass dies mit der Wärmedehnung zusammenhängt. Welle und Dichtung müssten sich um ca. 1.5 °C abgekühlt haben. Temperaturmessungen wurden nicht durchgeführt.

Ergänzende Erfahrungen im Labor der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)

Die gesamten Testläufe für den Druckregler (zwei Diplomarbeiten) wurden mit der gleichen Wellendichtung durchgeführt. Störungen diesbezüglich wurden keine festgestellt.

Druckregler

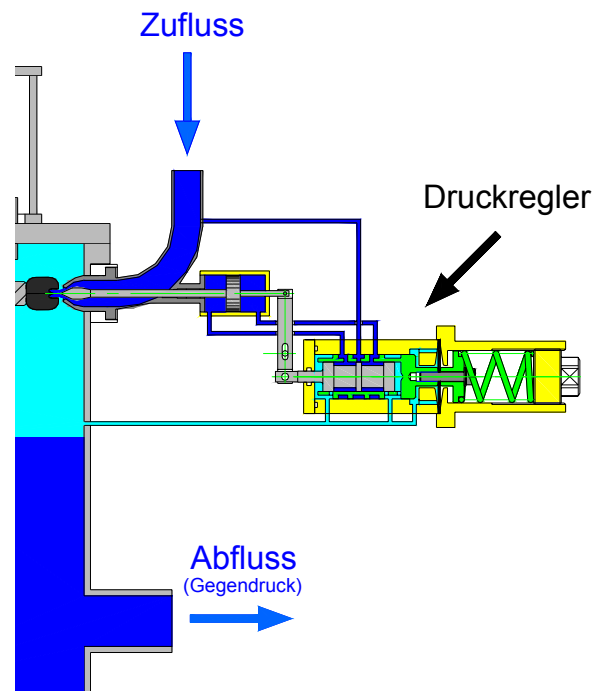
Wird die Turbine anstelle eines Druckreduzierventils eingesetzt, zum Beispiel zur Versorgung einer Zone ohne Druckausgleich, muss der Turbinendurchfluss so geregelt werden, dass der Gegendruck (Versorgungsdruck) konstant bleibt. In Zusammenarbeit mit den Fachhochschulen FHNW und BFH wurde im Rahmen zweier Semester- und Diplomarbeiten an einem elektronischen und einem hydropneumatischen Regelsystem gearbeitet. Dabei soll aus Kostengründen allein aufgrund der Gegendruckmessung (ohne Durchflussmessungen) der Durchfluss angepasst werden.

Elektronische Regelung

Mit dem elektronischen Regler konnten bereits zufriedenstellende Ergebnisse erreicht werden. Details dieser Arbeit sind in der Diplomarbeit "Modell Universal turbine" von Christian Beerli und Daniel Widmer ersichtlich.

Der in Bild 4 schematisch dargestellte Regler wurde im Rahmen einer Semesterarbeit entwickelt und hergestellt. Anlässlich der Diplomarbeit wurde die Versuchsturbine mit diesem Regler ausgerüstet und Testreihen gefahren. Bei diesem hydropneumatischen Regler sind die Ergebnisse nicht ganz so zufriedenstellend wie beim elektronischen Regler. Der Gegendruck kann zwar im Bereich von ca. ± 0.5 bar gehalten werden, das System neigt aber in bestimmten Bereichen immer noch zu Schwingungen und der Regler nimmt bei sehr rasch und hoch steigendem Gegendruck einen unerwünschten Zustand ein. Anstatt zu Schliessen öffnet die Düse.

Diese Untersuchungen sind in der Diplomarbeit von Florian Kronig detailliert ersichtlich.



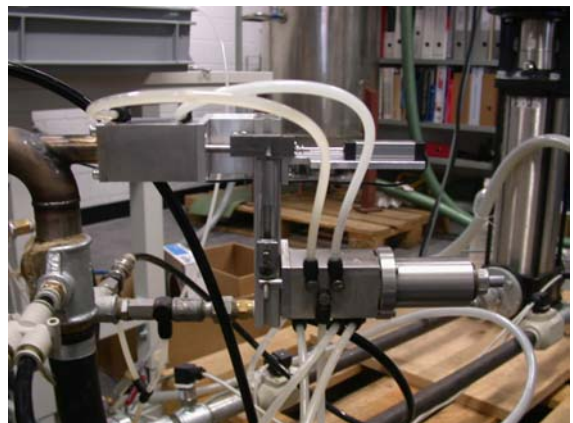
Weiteres Vorgehen

Von der hydropneumatischen Reglervariante erhofften wir uns ein betriebssicheres und wartungsarmes Regelsystem. Aufgrund der Ergebnisse mit den beiden Semester- und Diplomarbeiten werden wir vorerst für den Dauertest Crémines (BE) die elektronische Variante weiterentwickeln.

Bild 5
Versuchsaufbau der Universalturbine für die Druckreglertests an der FHNW in Brugg.



Bild 6
Aufbau des hydropneumatischen Reglers zu Testzwecken.



Lufteintrag und Regelung

Der Lufteintrag mit Strahlpumpe wurde anlässlich früherer Semester- und Diplomarbeiten an der BFH bereits untersucht. Der Lufteintrag mit Strahlpumpe funktioniert zufrieden stellend.

In den gleichen Anwendungsfällen, wo die Druckregelung zur Anwendung kommt, muss auch der Lufteintrag geregelt werden. Das abfliessende Wasser hat je nach Gegendruck meist einen höheren Luftanteil wie das zufließende Wasser. Dieser Luftverlust wird mit einer Strahlpumpe ersetzt. Damit nicht zuviel Luft in die Wasserversorgung gelangt, muss der Lufteintrag geregelt werden. Bei den Versuchen an der FHNW wurden die Grenzwasserstände im Druckgehäuse mit zwei Kapazitivsensoren erfasst und die Strahlpumpe mit der Wasserstandsregelung angesteuert. Die an der FHNW aufgebaute Regelung funktionierte zufriedenstellend. Für den Praxiseinsatz wird anstelle der Kapazitivsensoren und dem Glasrohr noch nach einer kostengünstigeren Lösung gesucht. Hier besteht die Idee ein einfaches Entlüftungsventil einzusetzen. Diese Idee soll mit dem Dauertest in Crémines (BE) genauer untersucht werden.

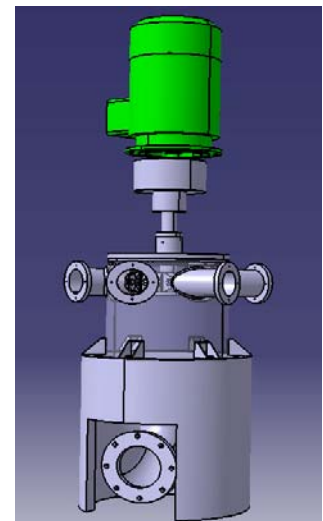
Industriepartner

Mit der Küffer AG konnte ein kompetenter Industriepartner gefunden werden. Die Küffer AG beteiligt sich mit eigenen Mitteln, vor allem in Form eines Businessplans und der konstruktiven Entwicklung an diesem Projekt.

Einheitliche Baugrösse, neue Turbinenreihe (Typisierung)

In Zusammenarbeit mit der Küffer AG konnte eine einheitliche Turbinengrösse errechnet werden, die bei nahezu gleichbleibendem Wirkungsgrad, für ca. 80% der Potenziale in Wasserversorgungen eingesetzt werden kann. Für die restlichen 20% ist lediglich eine zweite Düsengrösse erforderlich. Dank dieser einheitlichen Baugrösse können die Kosten beim Engineering und bei der Herstellung wesentlich gesenkt werden. Für die Turbine mit der errechneten Grösse werden zur Zeit, bei der Küffer AG, die Herstellpläne und die Kalkulationsgrundlagen erarbeitet. (Bild 7)

Bild 7 Universal turbine



Weiteres Vorgehen

Die Grundentwicklung der neuen Turbinenreihe soll bis Ende Februar abgeschlossen sein. Die Chancen eine erste Universal turbine in Ausserberg oder einem anderen Standort realisieren zu können stehen gut. Für Ausserberg wird in den nächsten Wochen ein Vorprojekt erarbeitet.

Nationale Zusammenarbeit

Zusammenarbeit mit den Fachhochschulen und den Industriepartnern

Die Zusammenarbeit mit den beiden Fachhochschulen FHNW und BFH und dem Industriepartner war über die Zeit betrachtet sehr hilfreich und interessant. Einerseits stehen dadurch der *stiftung revita* Laboreinrichtungen zur Verfügung, andererseits bringen die Dozenten und Studenten Ideen ein, die für die innovative Produktgestaltung wichtig sind. Dank dem Engagement des Industriepartners konnten wichtige Fragen geklärt werden, speziell bei der Generatorwahl und der einheitlichen Turbinengrösse. Ein KTI Antrag zur Finanzierung der weiteren Entwicklungsarbeit wurde abgelehnt. Hingegen durften wir eine grosszügige Unterstützung durch den Verein "FESUM" erfahren.

Nachteilig in der gesamten Entwicklungszeit zeigt sich die Problematik der Mittelbeschaffung. Dafür muss sehr viel Zeit aufgewendet werden. Dies verzögert die Entwicklung, reduziert die Entwicklungskapazität und damit die Erfolgchancen des Produkts erheblich.

Internationale Zusammenarbeit

Eine internationale Zusammenarbeit hat im Rahmen dieses Projekts nicht stattgefunden und kann somit nicht beurteilt werden.

Bewertung 2007 und Ausblick 2008

Wellendichtung

Die Wellendichtung scheint auf dieser Basis realisierbar. Insofern betrachten wir die Versuche und bisherigen Ergebnisse als Erfolg. In einem weiteren Schritt 2008 soll versucht werden, die Dichtung gleichzeitig als wassergeschmiertes hydrodynamisches Lager zu konzipieren. Dadurch könnte die Turbinenwelle kompakter und kostengünstiger ausgeführt werden.

Druckregelung

Die bisherigen Entwicklungsergebnisse zeigen, dass die Druckregelung allein aufgrund der Druckmessung möglich ist, für die Praxisanwendung sind jedoch weitere Anstrengungen notwendig.

Das Ziel ist auch hier ein möglichst einfacher, betriebssicherer Druckregler. Für weitere Entwicklungsschritte im 2008 sind Ideen vorhanden, die finanziellen Mittel fehlen.

Luftetrug und Regulierung

Der Luftetrug mit der Strahlpumpe und die Regulierung sind in der Praxis einsetzbar. Weitere Optimierungen und Verbesserungen sind zwar möglich, aber für die Realisierung der ersten Pilotanlagen nicht prioritär.

Neue Turbinenreihe (Universalturbine)

Bisher werden Trinkwasserturbinen immer noch anwendungsspezifisch hergestellt. Jede Turbine wird speziell für die standortspezifischen Anforderungen (Nettofallhöhe und Abfluss) konzipiert.

Die Universalturbine soll mit möglichst wenigen Änderungen einem Standort angepasst werden können. Umfassende Berechnungen zeigen, dass dies bei minimalem Wirkungsgradverlust möglich ist. Die einheitliche Baugrösse reduziert die Herstell- und Projektierungskosten, gleichzeitig kann sie auch im Gegendruckbereich eingesetzt werden. Daher der Name Universalturbine für Wasserversorgungen.

Ausblick 2008

Wir sind zuversichtlich im Jahr 2008 eine erste Pilotanlage für einfachere Anwendungsfälle (Ausserberg) realisieren zu können. Für Anwendungsfälle, die eine Druckregelung benötigen, reichen die Entwicklungsergebnisse und auch die finanziellen Mittel nicht, um eine erste Pilotanlage realisieren zu können. Ein Projekt wäre vorhanden.

Weitergehende Informationen zur Entwicklung der Universalturbine sind bei der *stiftung revita* erhältlich.