

## Hintergrundwissen Leitungswasserrohre

# Was muss bei den installierten Metallen in der Trinkwasserinstallation chemisch beachtet werden? Was hat das mit Korrosion zu tun? Und warum trägt eine Deckschicht zur langen Nutzungsdauer bei, Herr Dr. Scholzen?

Im 1. Beitrag wurden die Grundlagen der Korrosion behandelt. Jetzt soll das Verständnis noch etwas differenzierter und auch „berechenbarer“ beschrieben und erläutert werden. Dies wird später für die Bewertung von Sanierungsverfahren und den zahlreichen physikalischen Wasserbehandlungsgeräten (8. und letzte Folge), die gegen Rost und Kalk vielfach auf dem Markt angeboten werden, von Bedeutung sein. Außerdem wird dadurch der Unterschied zwischen dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und dem Korrosionsvorgang deutlich. Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht wird im nächsten Beitrag, Folge 3, beschrieben. **In diesem Fachbeitrag, der Folge 2, erläutert Dr. Georg Scholzen das „Elektrochemische Potential“ und welche Folgen das in der Praxis für die Leitungswasserrohre hat.**

### Das elektrochemische Potential

Die meisten als Werkstoffe verwendeten Metalle kommen in der Natur in der Regel als Erze, z.B. in Form von Oxiden, Sulfiden, usw., also gebunden vor. Nur „edlere“ Metalle wie Gold liegen gediegen vor. Dementsprechend müssen insbesondere die Werkstoffe Eisen und Kupfer aus den Erzen des jeweiligen Metalls gewonnen werden. Dies erfolgt unter Einsatz von sehr viel Energie, z.B. beim Eisen durch den Hochofenprozess, bei dem das Eisenerz reduziert wird, um Roheisen zu gewinnen. Dies ist eine typische Redoxreaktion, bei dem die Eisen-Ionen im Erz zu Roheisen reduziert werden und die Elektronen aus dem Oxid oder Sulfid stammen.

**Es ist letztlich die umgekehrte Reaktion des „natürlichen“ Korrosionsvorganges, den wir in Folge 1 kennengelernt haben.**

Durch die immer weitere Bearbeitung des Roheisens zum Stahl entfernt sich das Metall energetisch immer stärker von seinem Ausgangszustand. Der Ausgangsstoff, das Erz, liegt quasi in einer Energiesenke. Und genau dort will der Werkstoff durch natürliche Umlagerungen wieder hin: in die Energiesenke. Deshalb haben die Korrosionsprodukte auch eine vergleichbare Zusammensetzung wie die Ausgangsstoffe, z.B. der braungefärbte Rost in Form von Eisenoxiden beim Eisen. Was steckt hinter diesem natürlichen Phänomen?

### Zustandsbeschreibung

Die Zustände der Metalle lassen sich durch ihre Zustandsparameter wie Druck, Temperatur, Zusammensetzung etc. beschreiben. Bezogen auf ein- und denselben Stoff bestimmt das Stabilitätsmaß, in welchem der Aggregatzustand vorliegt (fest, flüssig oder gasförmig). Letztlich ist jeder Stoff permanent bestrebt, in einen Zustand mit geringerem Energieniveau überzugehen – und zwar solange, bis er seinen Gleichgewichtszustand erreicht hat. Dieses Naturgesetz wird durch atomare Umlagerungen erreicht. Dementsprechend gehen gleich-gewichtsfertige Zustände spontan in gleichgewichtsnähere Zustände über. Das Stabilitätsmaß eines Stoffes wird beschrieben durch sein thermodynamisches Potential bzw. seine freie Enthalpie  $G$ , gemessen in  $\text{kJ/mol}$ . Dabei ist es nicht wichtig den Absolutwert von  $G$  zu kennen, sondern als Differenz zwischen zwei Zuständen zu beschreiben:

$$\Delta G = G_{\text{Endzustand}} - G_{\text{Anfangszustand}} \quad (1)$$



**Dr. Georg Scholzen** ist Diplom-Chemiker mit über 20 Jahren Erfahrung in der Verhütung von Leitungswasserschäden. Er war u.a. Sprecher der Projektgruppe „Leitungswasser“ des GDV, Mitglied im Projektkreis „Betrieb und Wartung“ beim DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.), Autor des Fachbuches „Leitungswasserschäden: Vermeidung – Sanierung – Haftung“ und der Experte im FORUM LEITUNGSWASSER der AVW Unternehmensgruppe.  
Foto: Martin Zitzlaff

Die Geschwindigkeit einer Zustandsumwandlung ergibt sich aus der Triebkraft  $\Delta G$ , multipliziert mit der Mobilität des Systems, also der Beweglichkeit der atomaren Bausteine, deren Umlagerung erst den neuen Zustand ermöglicht. Die Beweglichkeit ist abhängig von der Bindungsintensität der beteiligten Bausteine untereinander, welche selbst natürlich auch wieder temperaturabhängig ist. Je höher die Temperatur ist, desto größer ist die Beweglichkeit der atomaren Bausteine und damit auch deren Umlagerungsgeschwindigkeit. „Geordnete“ atomare Zustände sind somit immer von zeitlich begrenzter Stabilität, da die Natur den „ungeordneten“ Zustand bevorzugt und dies mit unterschiedlichen Reaktionen zu erreichen versucht.

**Ein Teil dieser Reaktionen wird beschrieben durch Redoxreaktionen, wozu die Korrosionsreaktionen zählen.**

Jetzt wird auch verständlich, warum Metalle Elektronen beim Korrosionsvorgang abgeben. Letztlich wollen sie wieder in „ihren Ursprungszustand“ zurück. Daher wird bei jeder Oxidation von Metallen Energie frei. Beim Werkstoff Eisen erfolgen sogar drei hintereinander ablaufende Reaktionen, wobei jede zu einer weiteren Erniedrigung von  $\Delta G$  (Freie Enthalpie) beiträgt. Dabei ist das Oxid  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  aufgrund seines großen Enthalpiewertes von 1015 KJ/mol besonders stabil. Anders herum bedeutet dies eine große Energiemenge, die aufgewendet werden muss, um elementares Eisen (Fe) aus dieser Verbindung zu gewinnen. Die Tabelle zeigt die freien Enthalpien  $\Delta G^\circ$  bei Standardbedingungen (25 °C, 1 bar) von einigen Metallen.

**Tabelle 1:** Änderung der freien Enthalpie bei Reaktion reiner Metalle mit Sauerstoff

System MexOy	Metall	$\Delta G^\circ$ [kJ/mol]	Reaktionsgleichung
Au / Au <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gold	+163,3	$2 \text{ Au} + 1\frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ Au}_2\text{O}_3$
Ag / Ag <sub>2</sub> O	Silber	- 30,5	$2 \text{ Ag} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ Ag}_2\text{O}$
Cu / CuO	Kupfer	- 127,3	$\text{ Cu} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ CuO}$
Cu / Cu <sub>2</sub> O		- 146,5	$2 \text{ Cu} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ Cu}_2\text{O}$
Zn / ZnO	Zink	- 318,6	$\text{ Zn} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ ZnO}$
Mg / MgO	Magnesium	- 569,8	$\text{ Mg} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ MgO}$
Fe / FeO	Eisen	- 244,5	$\text{ Fe} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ FeO}$
Fe / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		- 741,5	$2 \text{ Fe} + 1\frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{ Fe}_2\text{O}_3$
Fe / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		-1014,9	$3 \text{ Fe} + 2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{ Fe}_3\text{O}_4$

Nur beim Gold muss für die Oxidation Energie aufgewendet werden. Daher findet man Gold auch gediegen in der Natur vor. Selbst Silber (Ag) läuft an und wird schwarz. Dies erfährt der Träger oder die Trägerin von Silberschmuck, da Silber mit geringsten Spuren von Schwefelverbindungen auf der Haut reagiert und schwarz anläuft (Bildung von Silbersulfid).

**Zurück zu den Metallen in unserer Trinkwasserinstallation:** Die treibende Kraft eines Redoxsystems, wie die Oxidation eines Metalls, lässt sich also messen. Grundsätzlich kann man allerdings nur Potentialunterschiede messen.

Die freien Enthalpien  $\Delta G$  entsprechen dabei den Standard Potentialen  $U_0$ , wobei auch hier gilt: je niedriger der Wert für  $U_0$  in Volt ist, umso größer ist die Tendenz des Metalls in einem Elektrolyten in Lösung zu gehen; man sagt auch: umso „unedler“ reagiert es. Die treibende Kraft dieses Vorganges lässt sich durch eine Spannung in dem System erklären. Es fließt ein elektrischer Strom zwischen den beteiligten Metallsystemen, z.B. zwischen dem Eisensystem und dem Kupfersystem. Diese Spannung wird als Potentialdifferenz bezeichnet. Grundsätzlich kann ein Strom immer nur von einem höheren zum tieferen Niveau hinfließen.

Als Bezugs elektrode wird die Normalwasserstoffelektrode benutzt. Dies ist ein willkürlicher Nullpunkt, mit dem die verschiedenen Systeme in einer elektrochemischen Spannungsreihe eingeordnet werden können (siehe Tabelle 2).

Mit der Nernst-Gleichung lassen sich die elektrochemischen Potentiale (U) in Abhängigkeit der Konzentration berechnen und umformen, wobei R die Gaskonstante, T die Temperatur, z die Anzahl der ausgetausch-

ten Elektronen,  $F$  die Faraday'sche Konstante und  $V$  gleich Volt ist (Gleichungen 1 und umgeformt mit dem Logarithmus ( $\log$ ) in Gleichung 2). Dadurch erhält man dann das Normalpotential in Volt, was gemessen werden kann:

$$U = U_{H^0} + RT/zF \ln c \quad (1)$$

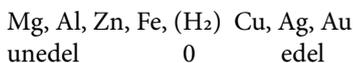
$$U = U_{H^0} + 0,059 \text{ V/e}^- \cdot \log [\text{Oxidationsmittel}] \quad (2)$$

**Tabelle 2:** Normalpotentiale von Metallen nach Hølemann-Wiberg

Metall		Metall-Ion	Normalpotential bei 25 °C, 1 bar	
Mg	→	$Mg^{2+} + 2 e^-$	- 2,34 V	
Al	→	$Al^{3+} + 3 e^-$	- 1,69 V	
Zn	→	$Zn^{2+} + 2 e^-$	- 0,76 V	
Fe	→	$Fe^{2+} + 2 e^-$	- 0,44 V	
H <sub>2</sub>	→	$2H^+ + 2 e^-$	0 V	Normalpotential
Cu	→	$Cu^{2+} + 2 e^-$	+ 0,35 V	

Beim Korrosionstyp Kontaktkorrosion kann sich aus der Spannungsreihe ein erster Verdacht ergeben, welches Metall zur Anode und welches zur Kathode wird. Es würden spontan also immer Elektronen vom Metall in der 1. Spalte der Tabelle 2 zum Metallion in Spalte 3 fließen (roter Pfeil): also vom Eisen (Fe, links) zum Kupfer-Ion ( $Cu^{2+}$ , rechts) fließen. Dies ist wie bei einem Wasserfall: ohne Energieaufwand kann das Wasser nicht den Wasserfall hoch „fallen“. Es können also niemals „freiwillig“ Elektronen vom Kupfer zum Eisen, Zink etc. fließen.

Daraus ergibt sich die allgemein bekannte elektrochemische Spannungsreihe:



Ein praktisches Beispiel wurde im letzten Artikel über den Leitungswasserschaden im EFH durch den kupfernen Stopfen auf der verzinkten Trinkwasserleitung beschrieben.

Bild 1 zeigt uns noch einmal sehr schön, was innerhalb einer kupfernen Rohrleitung passiert, wenn Teilbereiche aus verzinktem Stahl eingebaut sind. Die verzinkte Stahlschelle mit direktem Kontakt auf den kupfernen Abgang der Rohrleitung ist rostig. Bei Feuchtigkeit (Elektrolyt) fließen Elektronen vom verzinkten Stahl zum Kupfer. Somit rostet das Grundmaterial Eisen, nachdem sich die Zinkschicht schon geopfert hat. Genau derselbe Vorgang passiert an den Grenzflächen in der Trinkwasserinstallation, wenn sozusagen ungleiche Potentiale von verschiedenartigen Metallen in der falschen Fließrichtung des Wassers, Eisen vor Kupfer, verbaut sind.



**Bild 1:** Kupferinstallation mit verzinkter Stahlschelle

Bildquelle: Dr. Georg Scholzen, Münster

Als Ergebnis der bisherigen Diskussion kann festgehalten werden, dass

1. die Potentialdifferenz eines galvanischen Elementes letztlich die Triebkraft und damit ein Maß für die freie Enthalpie ist. Sie gibt Aufschluss über die Richtung und Triebkraft der zu erwartenden Reaktion.
2. sich die Potentialdifferenz eines Redoxsystems berechnen lässt. Dadurch kann eine elektrochemische Spannungsreihe erstellt werden, um die Triebkraft der Systeme untereinander kennen zu lernen.
3. dieses Potential abhängig von Druck, Temperatur und Konzentration der beteiligten Redoxpartner, z.B. Metall und Sauerstoff, in dem Korrosionsvorgang ist. Dadurch ändert sich die Potentialdifferenz und die Größe des Potentials.

Durch diese Erkenntnisse lassen sich nun Schadenbilder verstehen, die ansonsten schwierig nachzuvollziehen sind.

## 1. Belüftungselemente

Belüftungselemente entstehen durch unterschiedlichen Sauerstoffzutritt. Das Normalpotential verändert sich mit der Konzentration vom Oxidationsmittel, wie Gleichung 2 zeigt. In unserem Fall ist dies in der Regel der gelöste Sauerstoff im Trinkwasser. Dadurch ist es jetzt verständlich, weshalb es bei einem sogenannten Belüftungselement zu Potentialveränderungen durch den unterschiedlichen Sauerstoffgradienten, z.B. bei der Ablagerung von Sandkörnern in der Sechsuhr-Lage von horizontal verlegten Rohrleitungen oder an nicht entgrateten Stellen kommt. Dadurch ändert sich das Elektrodenpotential des Metalls an dieser Stelle. Die Potentialdifferenz zwischen diesen Belüftungselementen und den „normalen“ Metallpotentialen lassen Elektronen leichter vom Belüftungselement abfließen und führen somit zur lokalen Korrosionserscheinung.



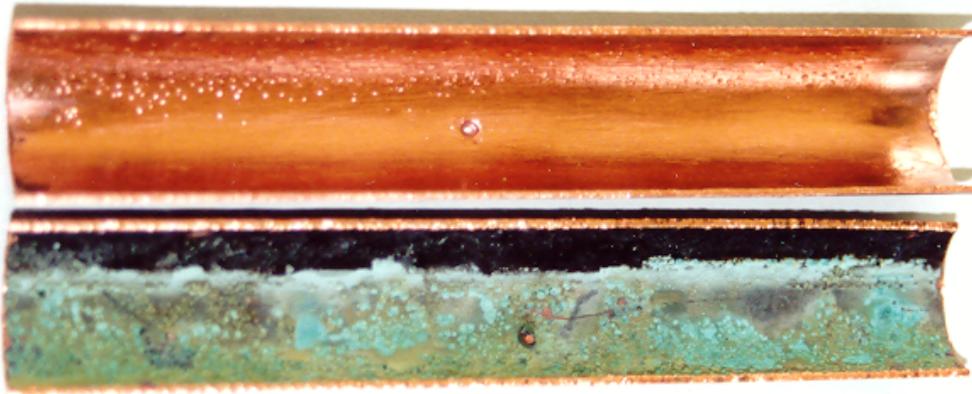
**Bild 2:** Kupferrohr mit Korrosionsangriffen an den nicht entgrateten Stellen durch die Ausbildung von sogenannten Belüftungselementen. Die homogene Deckschicht fehlt. Bildquelle: Christoph Gies, Dinslaken

## 2. Dreiphasenkorrosion

Bei dieser Korrosionsart entstehen Belüftungselemente durch die nur teilweise Befüllung des Rohres, z.B. nach einer Druckprobe und anschließendem ablassen des Wassers. Hierbei werden Inhibitionsstellen gelegt, die in der Regel nur darauf warten, dass die Korrosion bis zum Durchbruch fortschreitet. Diese Korrosion

tritt in horizontal verlegten Leitungen auf und die Phasengrenze entwickelt sich an der Grenzfläche zwischen dem stehenden Wasser im teilgefüllten Rohr, dem Metall und dem Luftraum. Wie schnell sich so eine Korrosion bis zum Durchbruch entwickeln kann, zeigt das Bild 3. Die Rohranalyse sieht fast schon bilderbuchmäßig aus und man könnte meinen, dass die Rohrprobe dafür extra präpariert wurde. Leider stammt sie aus einem Schulgebäude, dass innerhalb von zwei Jahren nach Inbetriebnahme mit massiven Rohrdurchbrüchen zu kämpfen hatte.

Die Ausbildung der unterschiedlichen Färbung ist durch das Dreiphasensystem Sauerstoff, Wasser und Me-



**Oben:** Starke Perforation des Kupfers nach 2-jährigem Betrieb

**Unten:** Die unterschiedlichen Färbungen sind hervorgerufen durch die Reaktion mit den Inhaltsstoffen (Anionen) im Wasser

**Bild 3:** Dreiphasensystem im Kupferrohr mit starken Perforation nach 2-jähriger Laufzeit. Ein Dreiphasensystem "Wasser, Metall, Luft" ist tödlich für Rohrleitungen. Bildquelle: Christoph Gies, Dinslaken

tall hervorgerufen, nachdem ein Teil des Wassers nach der Druckprobe abgelassen wurde (unteres Bild). Dadurch wurden an der Phasengrenze Wasser/Luft ideale Bedingungen für den Korrosionsangriff geschaffen, der nach kürzester Zeit zu massiven Durchbrüchen führte. Das obere Bild zeigt den Angriff des Grundwerkstoffs nach dem Abbeizen mit dem Durchbruch.

Das nächste Beispiel zeigt eine aktive Lochfraßkorrosion aus einem Wohngebäude mit 18 Wohneinheiten.



**Bild 4 und 5:** Lochkorrosion in horizontal verlegte Leitungen, die zumindest zeitweise nur zum Teil mit Wasser gefüllt waren. Nach Entfernung der Korrosionsprodukte zeigt sich der zu erwartende, lochförmige Angriff des Grundwerkstoffs. Bildquelle: Christoph Gies, Dinslaken

Auch hier zeigt sich das Dreiphasensystem im kupfernen Werkstoff in horizontalen Leitungen mit dem entsprechenden Angriff auf den Grundwerkstoff. Das Gebäude war bei der Rohruntersuchung erst 8 Jahre alt und wies bereits zahlreiche Leitungswasserschäden auf. Durch solch eine Konstellation ist der Grundwerkstoff vorgeschädigt und man muss in der Folge immer wieder mit Durchbrüchen und Leckagen rechnen.

**Lesen sie auch den Artikel**  
[Grundlagen der Korrosion](#)  
[Warum korrodieren Metalle und warum sind sie für eine Vielzahl der Leitungswasserschäden in der verbundenen Wohngebäudeversicherung verantwortlich?](#)  
**Dr. Georg Scholzen gibt die Antwort**

Forum Leitungswasser  
 Herausgeber: Dr. Georg Scholzen

**Grundlagen der Korrosion**  
**Warum korrodieren Metalle und warum sind sie für eine Vielzahl der Leitungswasserschäden in der verbundenen Wohngebäudeversicherung verantwortlich? Dr. Georg Scholzen gibt die Antwort**

Wollen wir präventiv bei der Planung Fehler vermeiden, können wir an den Grundlagen der Korrosion nicht vorbei. Und so stellt die folgende Frage im Raum: Warum überdauern metallische Leitungen in einem Fall 30 Jahre ohne Schaden und andere Installationen zeigen bereits nach nur zwei Jahren erste Korrosionserscheinungen, die zu Durchschlägen und Leckagen führen? Diese neuen Korrosionsarten sind ein Zusammenspiel zwischen der Auswahl der Werkstoffe in Abhängigkeit der Ionenstärke des Trinkwassers und der Betriebsweise verschiedener Werkstoffe.

**Warum ein Blick auf die Grundlagen der Leitungsrohre:** Grundsätzlich unterscheiden sich verschiedene Werkstoffe im Aufbau, in der Herstellung und in der Anwendung. Die meisten Leitungsrohre sind aus Eisen, Kupfer oder Kunststoff. Die meisten Leitungsrohre sind aus Eisen, Kupfer oder Kunststoff. Die meisten Leitungsrohre sind aus Eisen, Kupfer oder Kunststoff.

**Korrosion:** Die Korrosion resultiert aus der Reaktion eines Metalls mit seiner Umgebung. Die erste Reaktion ist die Oxidation des Metalls. Diese Reaktion ist die erste in der Reihe von Reaktionen, die zur Korrosion führen.

**Korrosionsbeschleunigung:** Die Beschleunigung der Korrosion kann durch verschiedene Faktoren verursacht werden. Dazu gehören: Feuchtigkeit, Sauerstoff, Salze, Säuren, Alkalien, Mikroorganismen, mechanische Beanspruchung, galvanische Zellen, etc.

**Korrosionsarten:** Die Korrosion kann in verschiedene Arten unterteilt werden. Dazu gehören: Gleichstromkorrosion, Wechselstromkorrosion, Lochfraß, etc.

**Korrosionsmaßnahmen:** Um die Korrosion zu vermeiden, können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Dazu gehören: Auswahl korrosionsbeständiger Werkstoffe, Schutzbeschichtungen, Kathodischer Korrosionsschutz, etc.

**Dr. Georg Scholzen** ist ein Experte für die Korrosion von Metallen in der Wasserwirtschaft. Er hat über 20 Jahre Erfahrung in der Entwicklung von Korrosionsschutzmaßnahmen für die Wasserwirtschaft. Er ist der Autor von "Grundlagen der Korrosion in der Wasserwirtschaft" und "Korrosionsschutz in der Wasserwirtschaft".

August 1. Jahrgang 2017 // [www.wohnungswirtschaft.de](#) // [www.wohnungswirtschaft.de](#)

### 3. Bildung von schützenden Deckschichten

Für das Verständnis ist es noch wichtig die Bildung von Deckschutzschichten zu verstehen, da diese die Elektrodenvorgänge hemmen können. Wenn die Schutzschichten elektrisch nichtleitend sind, entfalten sie eine Schutzfunktion, da dann kein Elektronenaustausch mehr stattfinden kann. Das darunterliegende Metall wird vor einem weiteren elektrochemischen Angriff geschützt. Damit sind die Hemmungserscheinungen wesentlich für den Korrosionsschutz von Metallen und können durch Oxide, Hydroxide oder Carbonate gebildet werden. Kleinste Störungen in der Deckschicht können den Schutz stören und dann den Korrosionsschutz nicht entfalten.

### Fazit

Es wurde die Triebkraft von Korrosionserscheinungen erklärt und über die freie Enthalpie und das Elektrodenpotential quantifizierbar abgeleitet, warum sich Eisen zugunsten von Kupfer opfert. Dieser natürliche Prozess läuft in jeder neu verlegten Trinkwasserinstallation aus metallischem Material ab und lässt sich nicht verhindern. Die Bildung von natürlichen Deckschichten ist zu fördern und Störungen beim Aufbau dieser Deckschichten können gravierende Auswirkungen für die Korrosionsanfälligkeit des Systems darstellen. Daher ist die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik bei der Planung, der Installation, der Inbetriebnahme und beim Betrieb umso wichtiger. Nur so kann die Nutzungsdauer von Trinkwasserinstallationen von mindestens 30 Jahre und länger sichergestellt werden.

**Dr. Georg Scholzen**

**50 Jahre DESWOS**  
Wir schaffen Heimat – weltweit

Deutsche Entwicklungshilfe für soziales Wohnungswesen e. V.  
 Innere Kanalstraße 69  
 50823 Köln  
 Tel. 0221 5 79 89-0  
 info@deswos.de  
 www.deswos.de

**DESWOS**

**DZI**  
Spenden-Siegel  
Geprüft + Empfohlen!

Deutsches Zentralinstitut für soziale Fragen (DZ)  
**Ihre Spende kommt an!**

**Projekte:**  
 Berufsbildung Bangladesch  
 Wiederaufforstung Nicaragua  
 Wasserkrüge Seminar El Salvador  
 Bau Eigenleistung Tansania  
 Wasserversorgung Indien  
 Minderheitenschutz Indien  
 Selbsthilfe El Salvador  
 Duale Maurer Ausbildung Nicaragua  
 Grundbildung Kenia  
 Eigenleistung Tansania  
 Siedlungsbau mit Handwerkerfamilien Tansania  
 Technologie Transfer Indien  
 Wohnbau Erdbebenresistent Nicaragua  
 Bau Eigenleistung Indien  
 Grundschulbildung im Flüchtlingslager Uganda  
 Brunnenbau Afghanistan  
 Erwerbsförderung Indien  
 Herstellung Dachziegel Nicaragua  
 Herstellung Lehm-Zement-Blöcke Sambia  
 Hygiene und Gesundheit Malawi