

Schadenvermeidung beim Einsatz von Hochspannungs-Hochleistungssicherungen durch Online-Temperaturmonitoring

Moderne miniaturisierte Elektronik erlaubt heute auch die thermische Überwachung von Hochspannungs-Hochleistungssicherungen. Mit dieser Überwachung kann das unkontrollierte Abschalten dieser Sicherungen verbunden mit Anlagenschäden verursacht durch An- und Aufschmelzen von Teileleitern des Schmelzleitersystems vermieden werden.

Einleitung

Hochspannungs-Hochleistungssicherungen (HH-Sicherungen) sind heute ein preiswertes und sehr häufig eingesetztes Betriebsmittel zur sicheren Abschaltung bei Kurzschlüssen. Diese schützen vor den Auswirkungen der thermischen und dynamischen Wirkungen des Kurzschlussstromes (*Bild 1*).

Allerdings werden immer wieder Fälle bekannt, bei denen unkontrolliertes Abschalten von Hochleistungssicherungen zu Anlagenschäden führte. *Bild 1* zeigt einen Schaden an einer Mittelspannungsanlage aufgrund geplatzter HH-Sicherungen, in Folge dessen sich ein dreipoliger Lichtbogenkurzschluss einstellte und das komplette Schaltfeld zerstörte.

Die Ursachen des Versagens von Hochleistungssicherungen können unterschiedliche Ursachen haben. Einige Vorgänge sind auf das An- und Aufschmelzen von einigen Schmelzleitern innerhalb der Sicherung zurückzuführen. Mit den Veränderungen an den Schmelzleitern verändern sich die Strom-Zeit-Kennlinie der Sicherung sowie deren Verlustleistungsabgabe zu höheren Werten hin.

Ursachen für erhöhte Belastungen von Sicherungen können sein

- Windungsschlüsse in Transformatoren mit langandauerndem Fehlerstrom [1],
- Betrieb des Transformators über seiner Nennleistung [1],
- zu niedrige Zuordnung der Sicherung zum Transformator [1],



Prof. Dr.-Ing. **Thomas Gräf**, Elektrische Anlagentechnik, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin



Bild 1: Anlagenschaden infolge des Versagens einer HH-Sicherung

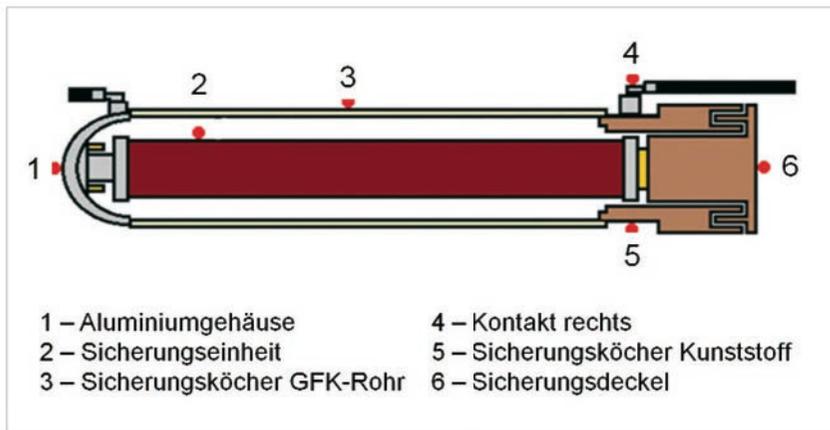


Bild 2: Mögliche Messpositionen zur Erfassung der Temperaturen [5]

- unzulässige Temperatur wird an die Sicherung herangebracht, mangelhafte Wärmeabfuhr [1],
- unzureichende Kontaktierung [1],
- Aufschmelzen einzelner Schmelzleiter infolge Teilströme durch Gewittereinwirkung [1],
- falsch projektierte Schaltanlagen,
- stark pulsierende Ströme,
- mechanische Anregung durch Vibrationen.

Eine Alterung durch pulsierende Ströme ist denkbar z.B. bei der Einspeisung regenerativer Energieerzeuger wie PV- oder Windkraftanlagen (WKA). Wechselnder Wolkenzug bei PV-Anlagen oder Windstärkeschwankungen bei WKA bilden sich in Schwingungsanregungen des Stroms ab. Auch mechanische Schwingungen des Turms, des Spannungsregelsystems, der Pitchregelung bilden sich in Stromschwankungen ab. Ebenso mechanische Schwingungsübertragung auf die Sicherung und die darin befindlichen Schmelzleiter, die dann durch Dauerbeanspruchung zu einem Bruch des Schmelzleiters führen können, sind vorstellbar. Die Dauerschwingungsfestigkeit (Wöhlerkennlinie) ist bislang nicht Gegenstand von Untersuchungen gewesen.

Die Degradation von Sicherungen geht häufig mit einer Änderung der Verlustleistung aufgrund einer Veränderung der internen Schmelzleiterstruktur einher.

Es wurde daher ein Versuchsstand realisiert, mit dessen Hilfe die Möglichkeit der thermischen Überwachung von Hochleistungssicherungen untersucht werden kann.

Aufbau des Versuchsstands

Der eingesetzte Versuchsstand besteht aus einer regelbaren Spannungsquelle, einer Strommessung sowie einem Mehrkanal-Temperatur-Datenlogger.

Der Aufbau des Versuchsstandes entspricht einem Aufbau nach Norm DIN EN 60282-1 [2].

Die Untersuchungen wurden unter Verwendung von Hochspannungs-Hochleistungssicherungen vom Typ Siba GmbH HH-Teilbereichssicherungen durchgeführt. Folgende Daten galten für die eingesetzten Sicherungen:

Typ SSK 20/36 kV, »e« = 537 mm, 80 A, RC 71 A, Betrieb unter Normalbedingungen: Leistungsabgabe 153 W, Kaltwiderstand 21 mΩ.

Aus dem in *Bild 2* gezeigten Versuchsaufbau wird deutlich, dass die in dem Köcher betriebene Sicherung hermetisch gekapselt ist. Eine Abgabe der entstehenden Verlustwärme der Sicherung an die Umgebung ist erschwert. Daher sind bei einer solchen Betriebssituation die Sicherungen i. d. R. nur mit dem halben Sicherungsbemessungsstrom belastet. Die Einbauposition entspricht dem Einsatz eines Sicherungseinsatzes in einer Schwefelhexafluorid(SF₆)-gasisolierten Mittelspannungsschaltanlage.

Darüber hinaus geben die Schaltanlagenhersteller Grenzwerte für die maximale Verlustleistungsentwicklung der Sicherung an, die beim Betrieb der Sicherung im eingebauten Zustand nicht überschritten werden sollen [3].

Allerdings besteht die Problematik, dass derzeit im laufenden Be-

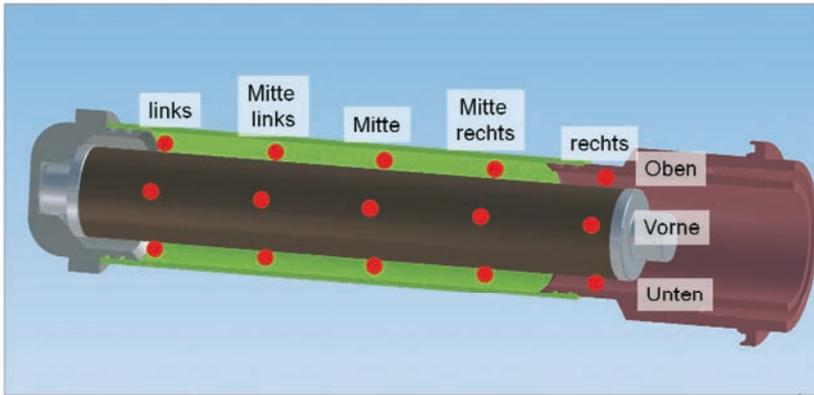


Bild 3: Mögliche Sensorpositionen

trieb eine Verlustleistungsüberwachung der Sicherung nicht möglich ist. Sollte nun ein Schmelzleiter unterbrochen werden, so erhöht sich die Verlustleistung innerhalb der Sicherung ohne dass sich der Betriebsstrom durch die Sicherung ändern muss. Die ansteigende Temperatur kann somit bei der in Bild 2 gezeigten Einbausituation

der Sicherung dazu führen, dass der umgebende Sicherungskörper, der aus einem glasfaserverstärkten Wickelkörper als Isolierstoff besteht, seine dielektrischen, mechanischen und SF₆-gasdichten Eigenschaften verliert und dadurch sich ein Schaden an der Schaltanlage entwickelt.

Beim Ziel, ein thermisches Monitoring an der Sicherung durchzuführen, muss berücksichtigt werden, dass ein direkter Zugang zur Sicherung im laufenden Betrieb nicht möglich ist. Im Betrieb liegt die Sicherung dauerhaft an Hochspannung und ist aus Gründen des Personenschutzes berührungssicher eingebaut.

Sensortechnik

Der Betrieb eines Sensors, der die Temperatur an einer im Betrieb an Hochspannung sich befindenden Sicherung erfassen kann, bedingt eine autarke Energieversorgung. Die Energieversorgung der Messelektronik mit Batterien und Akkumulatoren ist aufgrund der thermischen Randbedingungen und daraus resultierende Wartung, einhergehend mit einer Anlagenabschaltung, nicht zielführend. Vielmehr kann mit Hilfe von Thermogeneratoren (Energy-Harvesting) aus der Umgebung der Sicherung thermi-

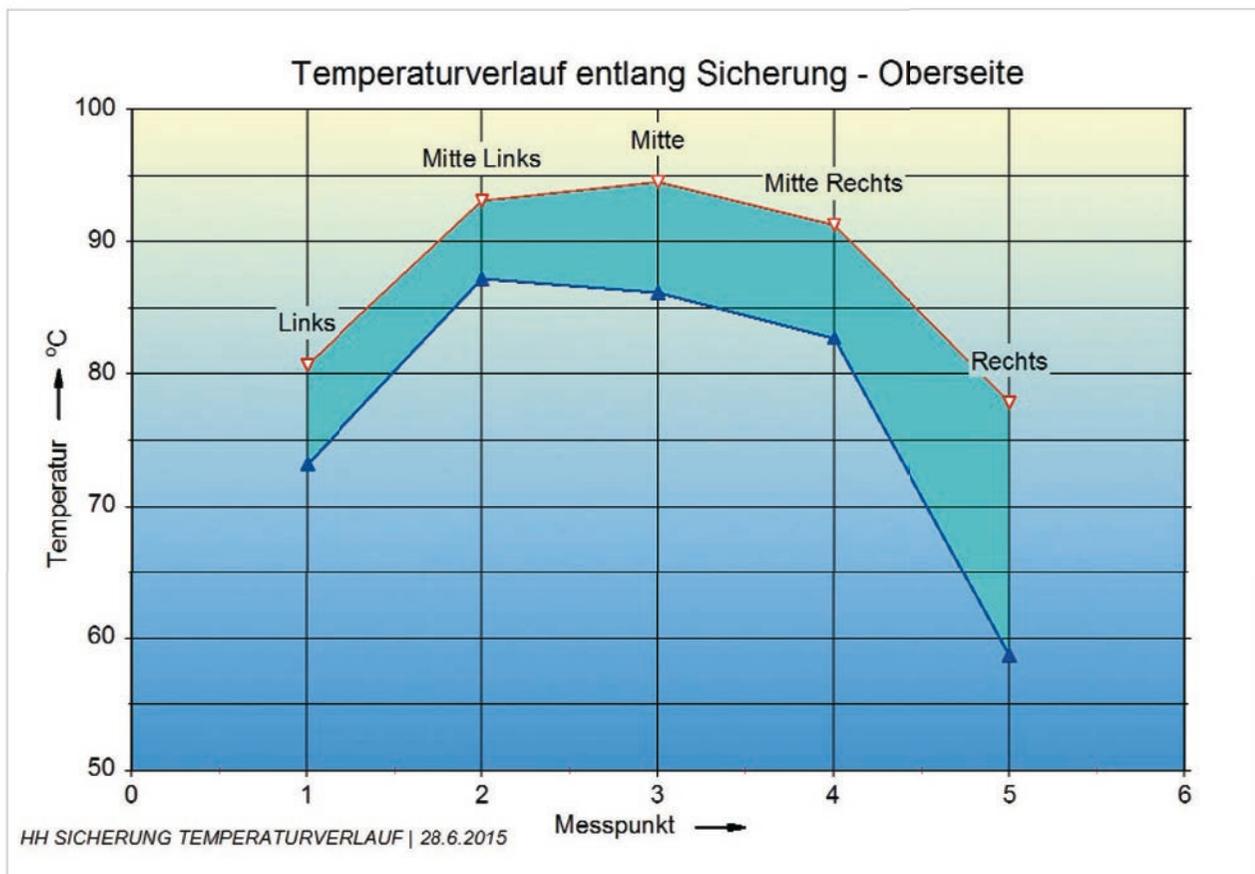


Bild 4: Temperaturdifferenz entlang Sicherung – Oberseite, rote Messkurve: Temperatur an Sicherung, blaue Messkurve: Temperatur in einem Abstand 10 mm oberhalb der Sicherung

sche Energie in elektrische Energie umgewandelt werden. Dafür ist allerdings eine ausnutzbare Temperaturdifferenz notwendig. Zur Klärung der Verfügbarkeit einer ausreichenden Temperaturdifferenz und zur Einsatzmöglichkeit eines entsprechenden Energy-Harvesting-Moduls sind weitergehende thermische Untersuchungen am realen Versuchsaufbau durchgeführt worden. Bild 2 zeigt sechs mögliche Einbaupositionen für einen Temperatursensor. Neben der Prüfung der thermischen Umgebungsbedingungen ist jedoch auch der mechanische verfügbare Einbauraum für einen entsprechenden Sensor zu berücksichtigen.

Bei der Auswahl des Einsatzpunktes des Temperatursensors muss beachtet werden, dass die Messpunkte 1, 3, 4 und 5 sich im SF₆-gasisolierten Raum befinden. Eine Temperaturmessereinrichtung lässt sich hier nur zum Zeitpunkt des Zusammenbaus der Schaltanlage einbringen. Vorteilhafter sind

die Messpunkte 2 und 6. Mit Messpunkt 6 besteht sogar die Möglichkeit, die Sensorik im berührungssicheren Bereich anbringen zu können, jedoch verbunden mit einer erheblichen Entfernung von der zu überwachenden Hochspannungssicherung.

Daher ist Position 2 zu bevorzugen, allerdings verbunden mit den technischen Anforderungen, genügend Einbauraum für das Einbringen des Sensors, eine ausreichende Temperaturdifferenz zur Energieversorgung der Messtechnik und eine geringe Beeinflussung der Isolationskoordination vorzufinden.

Aus einer bereits realisierten Anwendung zur Erfassung der Temperatur von auf Hochspannung befindlichen Stromschienen in Schaltanlagen steht eine Technik eines Messensensors zur Verfügung, die hier prinzipiell einsetzbar ist [4]. Voraussetzung jedoch ist, dass aufgrund der im Betrieb der Sicherung entstehenden Verlustwärme eine Temperaturdifferenz entsteht, die

für die Gewinnung elektrischer Energie zum Betrieb des Sensors ausreicht.

Bild 3 zeigt Messpunkte, an denen die auftretenden Temperaturen beim Betrieb der Sicherung mit Nennstrom an deren Oberfläche und 10 mm oberhalb der Sicherungsfläche gemessen wurden.

Messergebnisse

Bild 4 und 5 zeigen die aufgenommenen Temperaturen an der Oberseite der Sicherung sowie mit einem Messabstand von jeweils 10 mm über dem jeweiligen Messpunkt. Dieses simuliert die Höhe des später einzusetzenden Temperatursensors und dessen spätere Umgebungstemperatur.

Aus den beiden Diagrammen lässt sich erkennen, dass die Temperaturdifferenz an der Unterseite der Sicherung deutlich ausgeprägter ist und zu den Enden hin deutlich absinken. Das Absinken der Temperaturen an den Enden der Sicherung

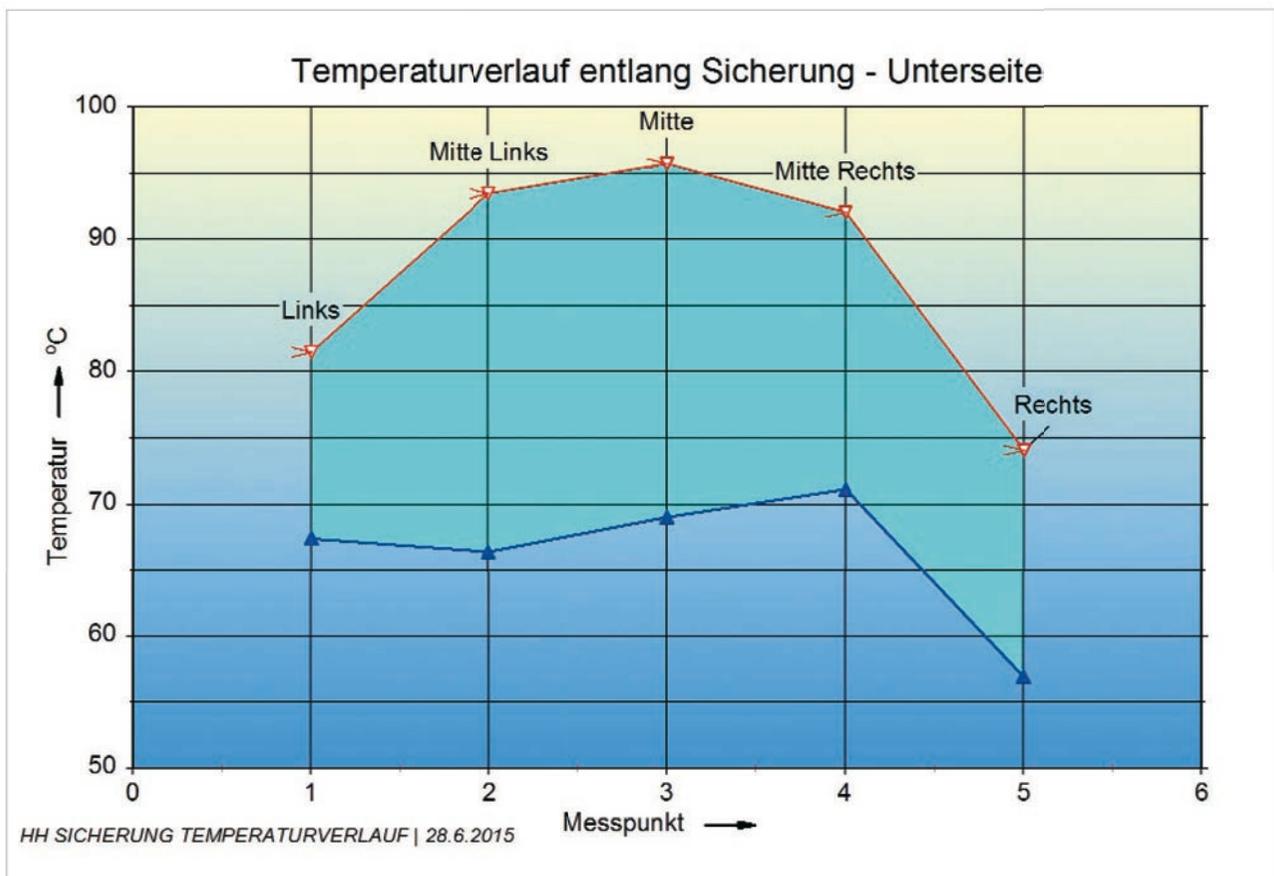


Bild 5: Temperaturdifferenz entlang Sicherung - Unterseite rote Messkurve: Temperatur an Sicherung, blaue Messkurve: Temperatur in einem Abstand 10 mm oberhalb der Sicherung

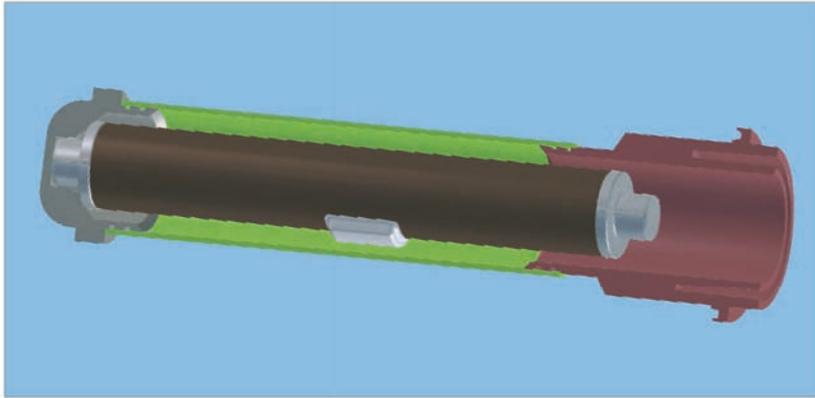


Bild 6: Sicherung mit aufgesetztem Temperatursensor

ist auf die Wärmeleitung der Anschlussarmaturen zurückzuführen. Gleichzeitig bildet sich in dem die Sicherung umgebenden Köcher ein Strömungsfeld aus, das für einen Temperatenausgleich innerhalb des Einbauraums der Sicherung sorgt. Bild 5 zeigt einen deutlich ausgeprägteren Temperaturunterschied auf der Unterseite der Sicherung im Vergleich zur Oberseite. Damit ist die zu bevorzugende Einbauposition für den Sensor hinsichtlich der zu gewinnenden elektrischen Energie auf der Unterseite der Sicherung und dort in der Mitte zu finden. Bild 6 zeigt die vorgesehene Einbauposition des autarken Temperatursensors.

Stand der Untersuchungen – Zusammenfassung

Derzeit wird der Prototyp des einzubauenden Temperatursensors gefertigt. Mit dessen Verfügbarkeit folgen noch Messungen zur dielektrischen Festigkeit der Sicherung im Sicherungskörper, d.h. Messung der Teilentladungseinsatzspannung, Bestimmung der Stehwech-

selspannung und Stehstoßspannung mit und ohne Temperatursensor. Hier gilt die Forderung, dass durch den Einbau des Sensors die Isolationsfestigkeit so gering wie möglich beeinflusst wird. Darüber erfolgt noch der Einsatz des Temperatursensors in einer realen gasisolierten Schaltanlage. Diese Untersuchungen werden am Ende des dritten Quartals 2015 stattfinden.

Mit der Verfügbarkeit des Temperatursensors wird es künftig möglich sein, online die Temperaturen von Hochleistungssicherungen im laufenden Betrieb zu überwachen und sich auf allen elektronisch verfügbaren Medien oder einer Leitebene anzeigen zu lassen.

Danksagung

Das Projekt wird gefördert vom NH-HH Recycling Verein [6], durch Materialspenden der Firmen Siba und Driescher Wegberg sowie durch die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE) durch die Vergabe eines Absolventenstipendiums.

10. Internationale Konferenz über Schmelzsicherungen und deren Anwendungen

ICEFA – International Conference on Electric Fuses and their Applications vom 14. bis 16. September 2015 in Dresden

Die Themen der Fachbeiträge von Seite 18 bis 30 der netzpraxis 7-8/15 standen auf dem Tagungsprogramm der 10. Internationalen Konferenz über Schmelzsicherungen und deren Anwendungen (ICEFA). Die Autoren der Beiträge hielten in Dresden Vorträge über ihre jeweiligen Fachthemen im Rahmen des Kongresses.

Weitere Information im Internet unter www.icefa2015.com

Schrifttum

- [1] Haas, U.: Thermischer Schaltanlagenenschutz durch Hochspannungssicherungen mit integriertem Temperatur-Begrenzer unter Berücksichtigung der IEC 420:1990. Sonderdruck Siba Lünen
- [2] DIN EN 20282-1 VDE 0670-4 Hochspannungssicherungen – Teil 1: Strombegrenzende Sicherungen (IEC 60282-1:2009) VDE Verlag GmbH, Berlin
- [3] Bessei, H.: Sicherungshandbuch. Herausgeber: Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling von abgeschalteten NH- und HH-Sicherungen e.V., 5. Aktual. Aufl. 2011, Kerschens- steiner Verlag, Lappersdorf
- [4] Berührungsloses Online-Monitoring an elektrischen Betriebsmitteln zur Bestimmung des Auslastungsgrades und Schadenvermeidung. Thomas Gräf, ETG Fachtagung Diagnostik elektrischer Betriebsmittel Berlin 25./26. November 2014, VDE Verlag Berlin
- [5] Kunze, A.: Zustandsmonitoring an einer HH-Sicherung. Unveröffentlichte Masterarbeit HTW Berlin, Fachgebiet Elektrische Anlagentechnik, 2015, Berlin
- [6] www.nh-hh-recycling.de

Thomas.Graef@htw-berlin.de

www.htw-berlin.de