

Blitzstrommessungen für neue Offshore-Windparks

K. Scheibe, Ch. Birk; Kiel

Die sogenannten FINO-Plattformen wurden zur Durchführung umfangreicher Forschungsaktivitäten in Offshore-Windparks der Nord- und Ostsee errichtet. Die FH Kiel beteiligt sich mit einem Programm zur Blitzstrommessung am Forschungsvorhaben von FINO 3 [1]. In den folgenden Ausführungen werden das Konzept, die ausgewählten Geräte und weitere Einzelheiten zur Blitzstrommessung im Rahmen dieses Forschungsvorhabens dargelegt.

1 Erneuerbare Energie aus Windkraftwerken

Im Hinblick auf den Klimawandel und die begrenzten fossilen Energieträger werden zunehmend Kraftwerke gebaut, in denen die elektrische Energie aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) soll der Energiebedarf in Deutschland bis zum Jahr 2020 zumindest mit 20% aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Offshore-Windparks in der Nord- und Ostsee sollen rund 15% der Energie liefern. Bis zum Jahr 2030 ist die Errichtung von Offshore-Windparks mit einer Leistung von 25 bis 30 GW geplant.

Da für Offshore-Windparks wenig Erfahrungswerte vorliegen, hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für dieses ehrgeizige Ziel im Jahr 2001 den Bau von drei Forschungsplattformen initiiert. Drei sogenannte FINO-Plattformen wurden in Nord- und Ostsee errichtet. Umfangreiche Forschungsaktivitäten werden hier durchgeführt. Die FH Kiel beteiligt sich mit einem Forschungsvorhaben zur Blitzstrommessung an FINO 3 [1].

FINO 3 befindet sich etwa 80 km westlich der schleswig-holsteinischen Insel Sylt am Rande des genehmigten Offshore-Windparks Dan Tysk (Bild 1). In der näheren Umgebung von FINO 3 sind drei weitere Offshore-Windparks sowie zwei Netzanbindungen genehmigt. Nach Fertigstellung können 320 Windenergieanlagen eine Leistung von bis zu 1.440 MW ins Stromnetz einspeisen. Vier weitere Windparks sind mit zusätzlichen 320 Windenergieanlagen geplant.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Klaus Scheibe, Dipl.-Ing. Christian Birk; FH Kiel, FB Informatik und Elektrotechnik.

Die Autoren danken dem Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in Berlin für die finanzielle Förderung dieses Projekts.

2 Aufbau der Forschungsplattform FINO 3

Die Wassertiefe am FINO 3-Standort beträgt 22 m, die Höhe der sogenannten Bemessungswelle 17,5 m. Auf dem 13 m x 13 m großen Plattformdeck befinden sich jeweils ein Messgeräte-, ein Energieversorgungs- und ein Treibstoffcontainer. Das Plattformdeck liegt 21,5 m über Seekartennull (SKN). Größere Gerätschaften bis zu 1,5 t kann ein Schwenkkran vom Schiff auf das Plattformdeck heben. Durch das Helikopterdeck ist die Forschungsplattform auch bei schlechten Witterungsverhältnissen für das Personal erreichbar.

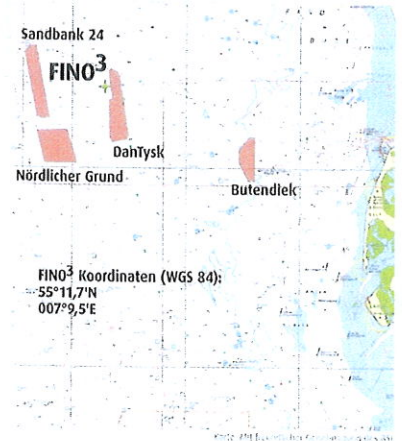
Das Plattformdeck steht auf einem konisch zulaufenden Monopile von 5 bis 3 m Durchmesser. Der dreiseitige Gittermast hat eine Höhe von 83,5 m. An der Spitze des Gittermastes ist eine 15 m lange Blitzfangstange befestigt. Der gesamte Gittermast mißt somit eine Höhe von 120 m über SKN (Bild 2).

3 Konzept der Blitzstrommessung

Die Blitzstrommessung wird sowohl an der Turmspitze als auch am Turmfuß durchgeführt. Die Messapparatur besteht aus Messshunts und induktiven Wandlern sowie magnetischen Sensoren. Durch diese Messeinrichtungen ist es möglich, Kenntnis vom Anteil der Blitzeinschläge in die Spitze zu erlangen.

Eine der wichtigen Aufgaben ist die rechtzeitige Triggerung der Messeinrichtungen, bevor ein Blitzeinschlag auftritt. Eine weitere sehr wichtige Aufgabe ist der Transfer der Messdaten von der Spitze des Turms zu dem geschirmten Messcontainer auf der Messplattform.

Eingesetzt wird das Messdaten-Erfassungssystem „GENESIS“. Mit diesem werden die Messdaten der Messwandler unter der Blitzfangstange ausgewertet. Die Messkarte im System hat eine Abtastrate bis zu 100 MS/s und Kanal. Insgesamt stehen vier Kanäle zur Verfügung. An den Eingängen der Messkarte werden über Lichtwellenleiter Analog-/Digital-Umsetzer angeschlossen. Die Umsetzer sind in unmittelbarer Nähe der Messwandler platziert und übertragen die Messdaten. Die elek-



1 Position der Forschungsplattform FINO 3



2 Forschungsplattform FINO 3

Tafel 1 Kenndaten der Messsensoren

Messeinheit	Impulsform in μs	max. Amplitude in kA
Shunt	10/350	200
Stromwandler	10/350	150

tromagnetischen Felder sollen über H- und E-Feld-Sensoren erfasst werden. Die Montage dieser Sensoren ist für 2012 geplant. Zusätzlich zu den elektrischen Blitzstrommessungen erfolgt eine optische Erfassung des Blitzeinschlags mit einer Hochgeschwindigkeitskamera.

3.1 Messeinheit Turmspitze

Für die Blitzstrommessung unterhalb der Turmspitze wurden ein Stromshunt und ein Pearson-Wandler in einem VA-Stahlgehäuse montiert (Bild 3/Tafel 1).

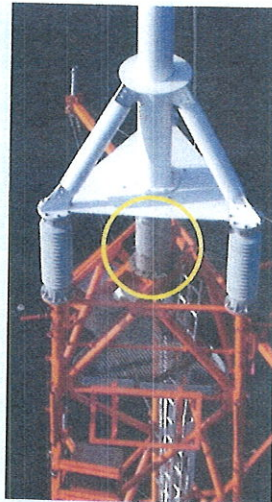
Im VA-Stahlgehäuse befinden sich die Messköpfe des Genesis-Messsystems. Diese Messköpfe wandeln das elektrische Signal des Shunts und des Pearson-Wandlers in ein optisches Signal, welches mit einem LWL-Kabel zum Genesis-Grundgerät im Messcontainer übertragen wird. Diese optische Lösung unterliegt keinen magnetischen oder elektrischen Beeinflussungen. Somit kann ein gerade eingeschlagener Blitz keinen störenden oder verfälschenden Einfluss auf das Messsignal ausüben.

3.2 Blitzstromableitung

Trifft ein Blitz die Blitzfangstange des Messmastes, so wird der Blitzstrom durch die Messeinheit unterhalb der Turmspitze auf den Gittermast abgeleitet (Bild 4). Unterhalb des VA-Stahlgehäuses kann sich der Strom über den gesamten Messmast verteilen und in Richtung Erde abfließen. In 15 m Höhe über dem Plattformdeck befindet sich eine massive Kupferschiene, die mit allen drei Eckstielen des Messmastes verbunden ist. In etwa der Mitte des Mastes wird von hier aus der sogenannte Mittelableiter installiert. Dieser soll dem Blitzstrom einen niederimpedanten Weg zur Erde bieten. Am Ende des Mittelableiters befindet sich die Messeinheit „Turmfuß“, die wieder aus einem Stromshunt und einem Stromwandler besteht. Der Strom, der über die drei Eckstiele des Messmastes abfließt, wird von Induktionsschleifen gemessen. Ab hier kann der Blitzstrom über die Konstruktion der Plattform zur Erde abfließen.

3.3 Messeinheit Turmfuß

Am Turmfuß befindet sich die Messplattform. Dort ist ebenfalls ein VA-Stahlgehäuse mit einem Shunt und einem Pearson-Wandler im Verlauf der niederimpedanten Mittelableitung angeordnet (Bild 5). Der Aufbau gleicht dem Gehäuse an der Turmspitze. Da nicht der gesamte Strom durch den Mittelableiter und somit durch den Shunt fließt, ist hier ein Shunt mit einer kleineren Impulsstromfestigkeit

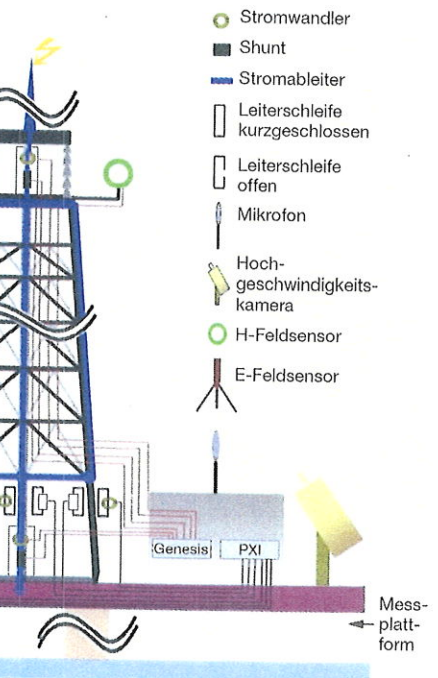


3 VA-Stahlgehäuse unterhalb der Turmspitze mit Blitzstrom-Messkomponenten

4 Übersicht der Messpunkte



5 VA-Stahlgehäuse am Turmfuß



6 Leiterschleifen am Turmfuß

eingesetzt. Der Wandler ist ebenfalls über dem Shunt angeordnet.

Die Induktionsschleifen bestehen aus einem massiven Kupferdraht, der eine offene und eine geschlossene Leiterschleife bildet.

- Mit den offenen Leiterschleifen wird die Blitzstromsteilheit di/dt erfasst.
- Mit der kurzgeschlossenen Leiterschleife, die durch einen Pearson-Wandler geführt ist, wird der Blitzstrom erfasst.

Diese Messanordnungen befinden sich in Wetterschutzgehäusen, die an jeweils einem Eckstiel angebracht sind. Alle Leiterschleifen haben einen definierten Abstand zum jeweiligen Eckstiel, an dem sie angebracht sind (Bild 6).

3.4 Auswertung der Blitzströme

Im Messcontainer auf dem Plattformdeck sind alle Geräte zur Auswertung untergebracht. Hier werden die optischen Signale von der Turmspitze wieder in elektrische Signale gewandelt.

Ein PXI-Mess-System zeichnet die elektrischen Signale in der Messeinheit „Turmfuß“ von den Induktionsschleifen und dem Stromshunt

sowie dem Pearson-Wandler auf. Sämtliche Steuerrechner und auch das Zubehör (externe Festplatten, Ethernet-Switches usw.) für die Datenaufzeichnung sind in einem 19"-Rack untergebracht.

Beim Zuschalten der Versorgungsspannung fahren Steuerrechner und Genesis-Grundgerät automatisch hoch. Beide synchronisieren sich miteinander und mit Hilfe eines Software-Tools schaltet sich das Genesis-Grundgerät ein und wartet auf das Blitzereignis.

Zur Aufzeichnung und Speicherung der Messdaten der Mess-Sensoren im Turmfußbereich wird ein Mess-System der Firma National Instruments eingesetzt. Das PXI-Messsystem besteht aus einem 8 Slot 3U Chassis in dem

- ein PXI-Embedded-System-Controller und
- vier Messkarten mit je zwei Messkanälen eingebaut sind (Tafel 2).

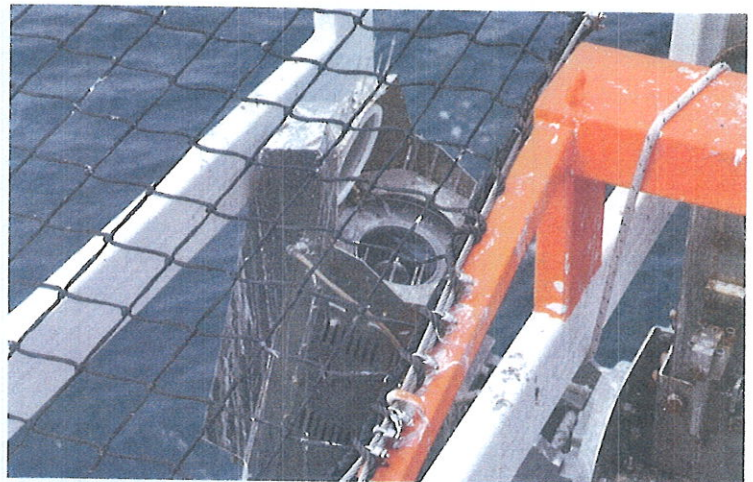
Die Inbetriebnahme des PXI-Systems ist für 2012 geplant.

3.5 Optische Entladungsaufzeichnung

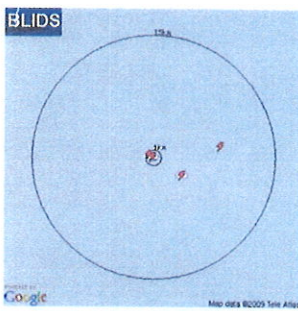
Mit einem Hochgeschwindigkeits-Kamera-system werden elektrische Entladungsvor-

Tafel 2 PXI-Mess-System

Anzahl	Gerät	Beschreibung
1	NI PXI – 1042	8 Slot 3U Chassis
1	NI PXI – 8196	RT NI-PXI Processor: Pentium M 2.0 GHz Controller w/Real-Time Embedded Software
1	NI PXI – 5124	Channel: 2 Bit Resolution: 12 bit Sample Rate: 200 MSa/s RAM: 256 MByte Bandwidth: 0–150 MHz Measuring time: 1,28 s with 10 ns sample interval
3	NI PXI – 5124	Channel: 2 Bit Resolution: 12 bit Sample Rate: 200 MSa/s RAM: 512 MByte Bandwidth: 0–150 MHz Measuring time: 1,28 s with 5 ns sample interval 2,56 s with 10 ns sample interval



7 Hochgeschwindigkeitskamera am Helikopterlandedeck



8 Siemens-BLIDS-Karte

Tafel 3 Siemens-BLIDS-Messdaten

Time (Zeitpunkt)	longitude (Längengrad)	latitude (Breitengrad)	type (Typ)	current peak (Stromspitze)	distance (Entfernung)
26.11.2009 19:51:46	7.155°	55.155°	cloud (Wolke)	- 23,8 kA	0,2 km
26.11.2009 19:51:46	7.150°	55.198°	earth (Erde)	- 29,3 kA	0,6 km
26.11.2009 08:06:37	7.213°	55.175°	cloud (Wolke)	15,5 kA	4,1 km
26.11.2009 08:06:37	7.286°	55.207°	earth (Erde)	17,2 kA	8,2 km

gänge an der Mastspitze des Gittermastes von FINO 3 aufgezeichnet.

Der Montageort der Hochgeschwindigkeitskamera befindet sich auf Höhe des Helikopterlandedecks. Durch den sehr steilen Aufnahme-winkel (etwa 85 Grad) zum Gittermast benötigt die Hochgeschwindigkeitskamera eine spezielle automatisierte Sichtglasreinigung (Bild 7). Das Sichtglas wird insbesondere gegen die zu erwarteten Umwelteinflüsse von salzhaltiger Luft (Salzkruste) und Voegelxkrementen geschützt.

Kamerasystem

Es wurden mehrere Hochgeschwindigkeits-Kamerasysteme untersucht. Aufgrund hervorragender Eigenschaften in der Bildrate, Bildauflösung, EMV-Festigkeit und des automatisierten Speichervorgangs wurde das Model Phantom V7.3 (Fa. Vision Research) ausgewählt. Dessen technischen Daten sind:

- Auflösung: 512 x 512 Pixel
- Bittiefe Bild: 12 bit Farbe
- Bildrate: 10 000 fps
- Aufzeichnungszeit: 2,179 s
- Ringspeicher: 8 GByte.

Optischer Messbereich

Der optische Messbereich wird mit unterschiedlichen lichtstarken Objektiven festgelegt und erfasst. Die Brennweiten dieser Objektive liegen im Bereich von 28 mm (Weitwinkel) – 200 mm (Zoombereich).

Speichervorgang

Die Triggerung der Kamera wird über ein TTL-Signal ausgelöst, das aus dem PXI-System bzw. Genesis-System herausgeführt wird. Im automatischen Betrieb der Kamera wird der Bildspeicher permanent beschrieben. Bei einem TTL-Triggersignal wird die Aufnahme gestoppt und die Bilddaten (etwa 8 GByte) werden über Lichtwellenleiterkabel an die Datenspeicherungseinheit im Messcontainer übertragen. Nach abgeschlossener Bilddatenübertragung schaltet die Kamera erneut in den Aufnahmemodus.

3.6 Einschalten der Messgeräte vor dem Blitzereignis

3.6.1 Donnerauslösung

Die zusätzliche Installation von Mikrofonen am Messcontainer soll beim Auftreten von Gewittern das Donnern als Bewertungsgröße nutzen, um die Stromversorgung des Kamerasystems und der Messauswertesysteme redundant einzuschalten. Für dieses Vorhaben sind in der ersten Messperiode Voruntersuchungen und Einstellungen zu testen, um nur bei einem Donner die Auslösung zu ermöglichen. Audiostörgrößen wie Möwenrufe und Wind- und Wellengeräusche müssen ausreichend bedämpft bzw. selektiert werden. Ein Messsystem zur Schallpegelmissionsüberwachung (Fa. Brüel & Kjær) hat sich als einsetzbares System erwiesen.

3.6.2 BLIDS-E-Mail-Aktivierung

Die Messgeräte auf FINO 3 sollen aufgrund der knapp verfügbaren Energieressourcen nur bei Gewitteraktivitäten eingeschaltet werden. Für das Einschalten der Messgeräte wird das Gewitterwarnsystem „BLIDS“ der Firma Siemens eingesetzt [2]. BLIDS erfasst und wertet bei Blitzentladungen die geographische Lage aus. Ein einstellbares geographisches Überwachungsgebiet um die Forschungsplattform soll ein sicheres Einschalten der Messsysteme bei Gewitteraktivitäten gewährleisten.

Tafel 4 Übersicht über die Parameter bei dem gesamten Blitzereignis – bestehend aus drei Einzelblitzen und einer unterlagerten stationären Entladung

Datum Uhrzeit	26.11.2009 19:54:38
Gesamte spez. Energie [kJ/Ω]	357,5
Gesamtladung [C]	123,5
Amplitude 1 [kA]	-11,73
Steilheit 1 [kA/μs]	-1,319
Amplitude 2 [kA]	-18,09
Steilheit 2 [kA/μs]	-1,193
Amplitude 3 [kA]	-30,76
Steilheit 3 [kA/μs]	-4,14

Treten in der Überwachungszone atmosphärische Entladungen auf, erhält das Mess-System auf FINO 3 eine E-Mail-Nachricht, die als Einschaltsignal für die Messgeräte vorgesehen ist.

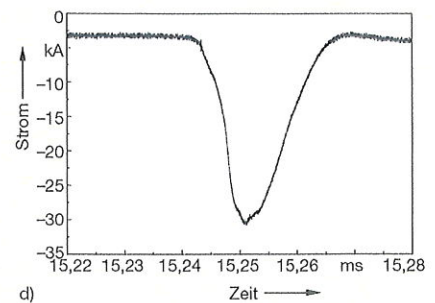
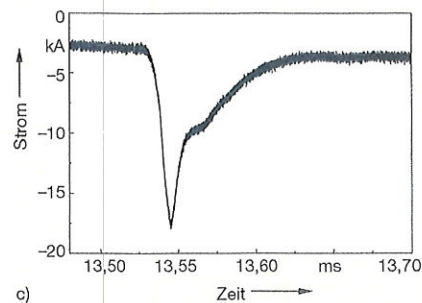
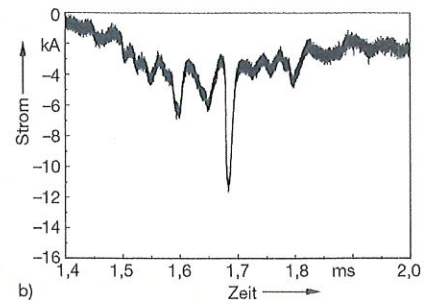
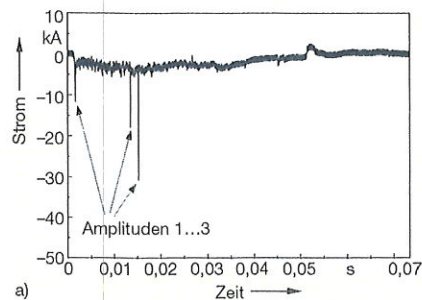
In einer weiteren Zusammenarbeit mit der Firma Siemens AG sollen die auf FINO 3 gesammelten Messdaten miteinander verglichen werden. Hierbei können sich interessante Aufschlüsse auf die Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit beider Messeinrichtungen ergeben.

4 Auswertung eines Blitzereignisses

Am 26. 11. 2009 wurde ein Blitzeinschlag mit dem Genesis-Messsystem aufgezeichnet. Das Blitzereignis konnte durch BLIDS messtechnisch bestätigt werden (Bild 9/Tafel 3). Ein Vergleich mit den Messdaten zeigt eine Übereinstimmung mit der Spitzenamplitude von etwa 30 kA.

Der Entladungsverlauf weist mehrere Einzelimpulse mit Amplituden > 10 kA auf (Bild 9a), die in einem Zeitraum von 10–15 ms auftreten. Sie sind einer stationären Entladung mit einem Scheitelwert von etwa 2 kA, die insgesamt über etwa 50 ms ansteht, überlagert.

Der erste deutliche Entladungsimpuls tritt mit einer Amplitude von 11,5–12 kA aus einer unterlegten Grundentladung heraus (Bild 9b) auf, die sich im Mittel zwischen 0 und 3 kA ausbildet. Ihre maximale Steilheit liegt bei etwa $1,3 \text{ kA}/\mu\text{s}$, was einer Stirnzeit von $11 \mu\text{s}$ entspricht. Die gesamte Entladung dieses einzelnen Impulses liegt nur bei etwa $20 \mu\text{s}$. Etwa 10 ms nach der ersten impulsartigen Entladung tritt eine weitere auf (Bild 9c),



9 Blitzstromverlauf mit mehreren Einzelimpulsen

- a) Blitzstromverlauf mit drei Amplituden; b) erste impulsartige Entladung; c) zweite impulsartige Entladung; d) dritte impulsartige Entladung

die sich von der ersten Entladung durch ihre längere Impulsdauer unterscheidet. So liegt zwar die Stirnzeit in der gleichen Größenordnung wie die der ersten impulsartigen Entladung, jedoch ist die Rückenhalbwertzeit mit etwa $50 \mu\text{s}$ um einen Faktor von 2 bis 3 größer und der Impuls klingt nach einer Gesamtzeit von etwa 100 μs wieder ab.

Der dritte Entladungsimpuls liefert mit 30 kA die größte Amplitude und weist bei einer Stirn-

zeit von nur $7 \mu\text{s}$ die höchste Steilheit mit etwa $4 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (Bild 9d) auf.

Tafel 4 enthält weitere Daten zu diesem Blitzereignis.

Literatur

- [1] FINO 3-Forschungsansätze für Offshore Windenergieanlagen. Internetadresse: www.fino3.de
 [2] BLIDS: German lightning detection and information system. Informationsdienst von Siemens zu Gewitterblitzen in Deutschland, der Schweiz, Polen, Benelux, Tschechien, Slowakei und Ungarn. ■

25 Jahre
KABELDURCHFÜHRUNG



Curaline® BKD 150
 - einfach in der Montage
 - unschlagbar in der Flexibilität

So einfach kann Kabelabdichtung sein!

DOYMA GmbH & Co
 Durchführungssysteme
 Industriestr. 43-57
 D-28876 Oyten



Fon: 04207 91 66-300
 Fax: 04207 91 66-199
www.doyma.de
info@doyma.de