



Das Praxismagazin für Entscheidungen  
im Trink- und Abwassermanagement

**SONDER-  
DRUCK**

**Prozessstabilität,  
Umweltschutz,  
Kostensenkung**

Dr. Michael HEIMANN

# Das **C-N-P**-Verfahren

**Optimierung des biologischen Systems:  
Das C-N-P-Verfahren verfolgt einen  
ganzheitlichen Ansatz.**

Kläranlagenbetreiber werden in den letzten Jahren zunehmend mit der Forderung nach Modernisierung und Optimierung ihrer Anlagen konfrontiert. Neben dem laufenden technischen Fortschritt resultiert diese Forderung im Wesentlichen aus

- I verschärften gesetzlichen Anforderungen mit der Zielsetzung der Verbesserung der Gewässerqualität
- I Problemen mit der Prozessstabilität – daraus resultierend Schwierigkeiten, die bestehenden Grenzwerte einzuhalten
- I dem zunehmenden Kostendruck auf Kläranlagenbetreiber, der dazu zwingt, Investitions- und Betriebskosten so gering wie möglich zu halten.

Die genannten Punkte sind dabei nicht isoliert zu betrachten, sondern greifen offensichtlich ineinander. So ist eine höhere Prozessstabilität letztendlich auch Kosten senkend, nämlich durch geringeren Personal- und Sachaufwand für „Noteingriffe“, weiterhin führt sie auch zu günstigeren Ablaufwerten mit der Konsequenz niedrigerer Abwasserabgabe bzw. Vermeidung von Strafzahlungen.

**Maßnahmen**

Zu den häufig gewählten Maßnahmen zählen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) 1/:

- I Baumaßnahmen wie Vergrößerung der Beckenvolumina, Bau von Denitrifikations- und Bio-P-Becken
- I Verfahrenstechnische Ausstattung wie Prozesswasserbehandlung, Desintegrationsanlagen, Membrantechnik
- I Zugabe von verschiedenen Hilfsstoffen, z.B. zur Schlammbeschwerung und Bekämpfung von Fadenorganismen, Vitamin- oder Enzympräparate
- I Steuerungs- und Regelungstechnik wie Einführung von Online-Messeinrichtungen oder Fuzzy-Logic-Regler, die es ermöglichen, die Prozessführung

schneller an sich ändernde Gegebenheiten anzupassen (um beispielsweise Energieverschwendung durch unnötig hohe Belüftung zu vermeiden).

Einige der Maßnahmen können zu Verschlechterungen an anderer Stelle führen (z. B. führt die 3. Reinigungsstufe zur Stickstoffeliminierung häufig zur Verschlechterung der Schlammigenschaften und Bildung von Fadenorganismen). Weiterhin haben viele Maßnahmen ihre Auswirkungen auf nur einen Parameter, so dass bisweilen eine Kombination angezeigt erscheint. Dies erhöht wiederum die Komplexität des Systems mit Auswirkungen auf Praktikabilität und Rentabilität und nicht zuletzt Akzeptanz beim Anlagenpersonal.

**Das C-N-P-Verfahren**

Obwohl das C-N-P-Verfahren bei einer Reihe von Problemstellungen sehr gute Erfolge erzielt, ist es gleichwohl nicht primär als „Problemlöser“ für mangelbehaftete Anlagen zu verstehen. Statt verschiedene negative Symptome mit verschiedenen Ansätzen zu korrigieren, soll vielmehr ein ganzheitlicher Ansatz beim biologischen System gefunden werden, der durch Optimierung der Lebensbedingungen der Mikroorganismen viele Probleme gar nicht erst entstehen lässt.

**Verfahrensprinzip**

Grundprinzip des C-N-P-Verfahrens ist die Regelung der Atmungsaktivität der Mikroorganismen mit anschließender Anpassung der Sauerstoffzufuhr 2, 3/. Unterstützt werden die Lebensbedingungen durch dynamische Einstellung eines geeigneten C : N : P-Verhältnisses und weiterer Anlagenparameter optimiert. Betrachtet man zunächst die Massenbilanz des Bioreaktors für Kohlenstoff nach „konventioneller“ Verfahrensführung,

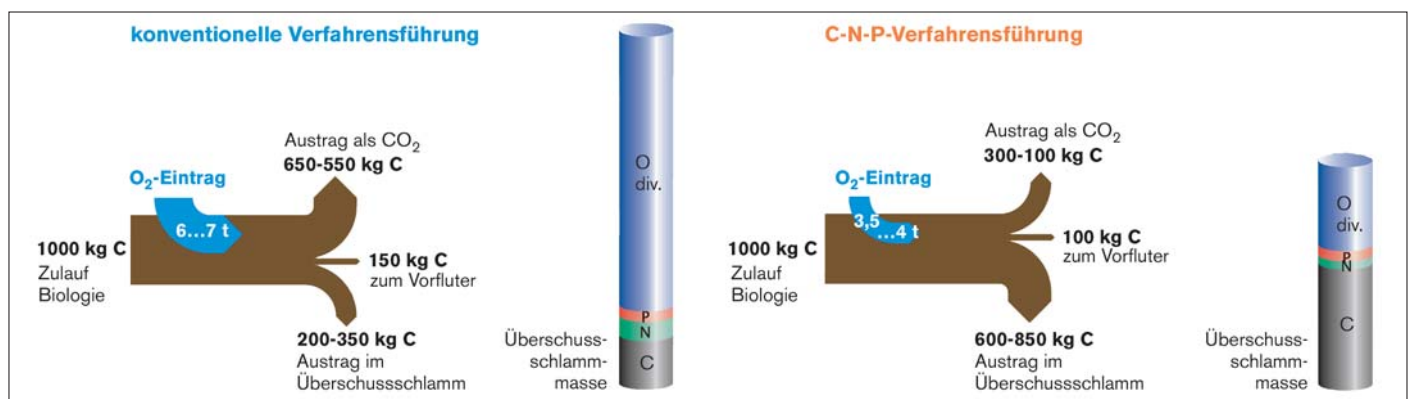
so findet man, dass unter hohem Sauerstoffverbrauch der größere Teil des Kohlenstoffs als CO<sub>2</sub> über den Gaspfad ausgetragen und ein geringerer Teil durch Austrag im Überschussschlamm eliminiert wird (Bild 1).

Annähernd unter Umkehrung der Massenverhältnisse realisiert die C-N-P-Strategie die Kohlenstoffeliminierung zum erheblichen Teil durch Eintrag in den Überschussschlamm. Dabei wird der ursprünglich sehr hohe Sauerstoffeintrag stark vermindert.

Eine substantielle Verminderung des Sauerstoffeintrags lässt sich aber nur realisieren, wenn zuvor der **Sauerstoffbedarf** der Mikroorganismen vermindert wurde – andernfalls müsste man gravierende Nachteile in Bezug auf Reinigungsleistung und Schlammigenschaften in Kauf nehmen.

Das C-N-P-Verfahren setzt nun spezielle Hilfsstoffe der ENTEC-Serie ein, die den Sauerstoffbedarf vermindern und dadurch die Verfahrensumstellung ermöglichen. Dabei vereinigen sie mehrere Funktionen in sich:

- I Die sehr große hydrophobe innere Oberfläche der Polyaluminium-Grundsubstanz bewirkt
- I den Transport organischer Verbindungen in den Schlamm
- I die Förderung anspruchsvoller langlebiger Organismen durch Bildung einer Siedlungsfläche
- I den Ausgleich von Belastungsspitzen
- I ein sinnvolles Kohlenstoff/Stickstoff-Management, das bei geschicktem Einsatz die vielfach auftretenden Probleme bei der Stickstoffeliminierung in Schwachlastzeiten vermeidet.
- I Eine Veredelungskomponente bewirkt durch kompetitive Hemmung der enzymatischen Reaktion das Zurückdrängen der unerwünschten Schlammautoolyse – damit ergibt sich ein gleichmäßiger Abbau der Abwasserinhaltsstoffe, der nun auch mit geringerem Sauerstoffeintrag auskommt.



**DAS C-N-P-VERFAHREN: Kohlenstoffbilanz und Überschussschlamm-Masse**

Bild 1

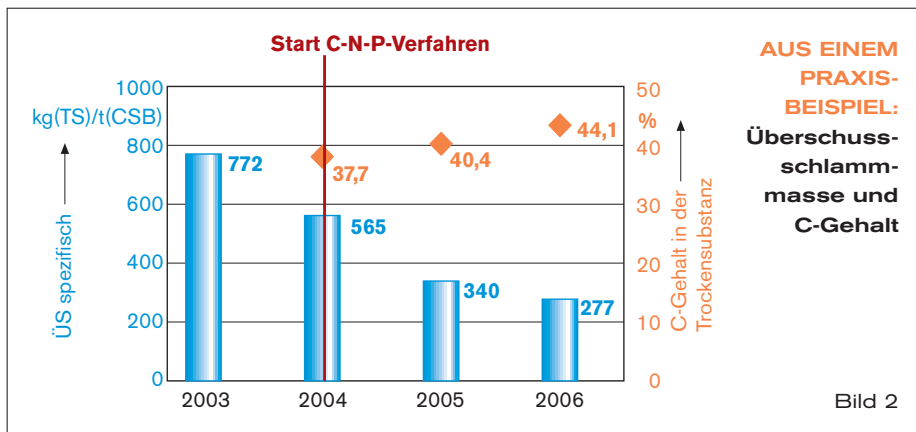


Bild 2

## Auswirkungen

### Ablaufwerte

Mit den beschriebenen Maßnahmen ist somit eine Vergleichmäßigung und Erniedrigung der Ablaufwerte für Kohlenstoffverbindungen (TOC, CSB, BSB<sub>5</sub>), sowie für Stickstoffverbindungen (NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N) /4/ zu erzielen. Weiterhin wird durch die Al-haltigen ENTEC-Produkte Phosphor eliminiert, was zusätzlich durch den geringen Sauerstoffeintrag begünstigt wird. Letztendlich ist die benötigte Produktmenge erheblich niedriger als bei konventionellen „Fällmitteln“, welche unter C-N-P-Verfahren nicht mehr erforderlich sind.

### Überschussschlammmenge

Im Gegensatz zur Massenerhöhung beim Einsatz herkömmlicher Fällmittel ist bei Einsatz des C-N-P-Verfahrens stets eine Massenabnahme des Überschussschlammes zu beobachten, obwohl ja ebenfalls Phosphor eliminiert wird, der sich zwangsläufig im Schlamm wieder finden muss /5/. Die Massenabnahme kann – abhängig von Ausgangslage und vorher eingesetztem Verfahren – 30 bis 50 % der anfallenden Überschussschlamm-Masse betragen.

Wie ist nun diese Massenabnahme zu erklären?

Analysen der Belebtschlämme einer Reihe von Anlagen in Bezug auf ihren Gehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor ergaben ein Bild, das auch mit den in Bild 1 dargestellten Massenströmen übereinstimmt.

Belebtschlämme aus konventionell betriebenen Anlagen enthalten oft weniger als 20 % Kohlenstoff und ein C/N-Verhältnis von ca. 3 bis 4. Weiterer Bestandteil ist der eliminierte Phosphor – in der Biomasse gebunden oder in anorganischer Form. Den überwiegenden Teil des Schlammes bilden jedoch Inertstoffe und chemisch gebundener Sauerstoff. Bei Einführung des C-N-P-Verfahrens beobachtet man mit Beginn der Dosie-

rung des ENTEC-Produkts und der Verringerung des Sauerstoffeintrags eine stetige Zunahme des Kohlenstoffgehalts bis auf > 40 % und eine Zunahme des C/N-Verhältnisses bis auf Werte von 8 bis 10. Aufgrund verbesserter P-Eliminierung enthält der Schlamm nun auch eine höhere Phosphormasse.

Bild 1 verdeutlicht, dass die Abnahme der Überschussschlamm-Masse also vor allem auf die geringere Masse an chemisch gebundenem Sauerstoff zurückzuführen ist, die die Zunahme der Masse an Kohlenstoff und Phosphor weit überkompensiert. Ein Praxisbeispiel für die Abnahme der Überschussschlamm-Masse bei gleichzeitiger Erhöhung des C-Gehalts zeigt Bild 2.

### Energieverbrauch

Aus dem vorangegangenen Text geht hervor, dass sich der Sauerstoffbedarf der Biocoenose verringert und im Verlauf der Verfahrensumstellung der Sauerstoffeintrag dem verminderten Bedarf angepasst wird. Zwanglos lässt sich damit eine Verminderung des Stromverbrauchs der Belüfter um 30 % und mehr erklären. Neben dem ökonomischen Vorteil hat dies den ökologischen Vorteil einer geringeren Emission des als „Treibhausgas“ unvorteilhaften Kohlendioxids bei der Stromproduktion.

### Schlammigenschaften, hydraulische Kapazität

Mit der Einführung der dritten Reinigungsstufe haben auf vielen Anlagen Schlammprobleme zugenommen. Dies betrifft insbesondere das Absetzverhalten, einen Anstieg des Schlammindex, Bildung von Schwimmschlamm und Schaum. Eine wesentliche Rolle spielen dabei fadenförmige Organismen, die unter bestimmten Bedingungen (z. B. niedrige Temperatur, niedrige Schlammbelastung) Wachstumsvorteile haben und sich dann übermäßig vermehren. Während in vielen Fällen die Dosierung von Aluminium-Verbindungen Abhilfe bringt,

sind andererseits Fälle bekannt, bei denen keine Wirkung beobachtet wird oder eine anfängliche Verbesserung später wieder verschwindet. Dagegen tritt bei konsequenter Umstellung auf C-N-P-Verfahren eine veränderte Nahrungssituation ein, die den Fadenorganismen keinen Wachstumsvorteil mehr bietet. So wurde unter C-N-P-Verfahren der vielfach diskutierte „Gewöhnungseffekt“ noch nie beobachtet – weiterhin sind die benötigten Produktmengen (bezogen auf Al) meist geringer als bei einfacher Produktdosierung.

Durch den meist ganzjährig unter 100 ml/g liegenden Schlammindex verbunden mit höherer Absetzgeschwindigkeit ist naturgemäß geringere Abtriebsgefahr im Nachklärbecken gegeben, damit höhere hydraulische Kapazität.

### Weitere Prozessparameter

Neben den beschriebenen Effekten hat das C-N-P-Verfahren Einfluss auf weitere Prozessparameter. Dies sind insbesondere:

**Das Schlammalter:** Bei konventionell betriebenen Anlagen sind die Eingriffsmöglichkeiten zur Beeinflussung des Schlammalters oftmals begrenzt: Eine gewünschte Erhöhung lässt sich meist nur über den Parameter TS-Gehalt realisieren – hier ist aber oftmals eine Begrenzung durch Schlammvolumen/Schlammindex gegeben. Die erste Abhilfe ist hier durch die Indexverbesserung gegeben, die unter C-N-P-Verfahren eintritt.

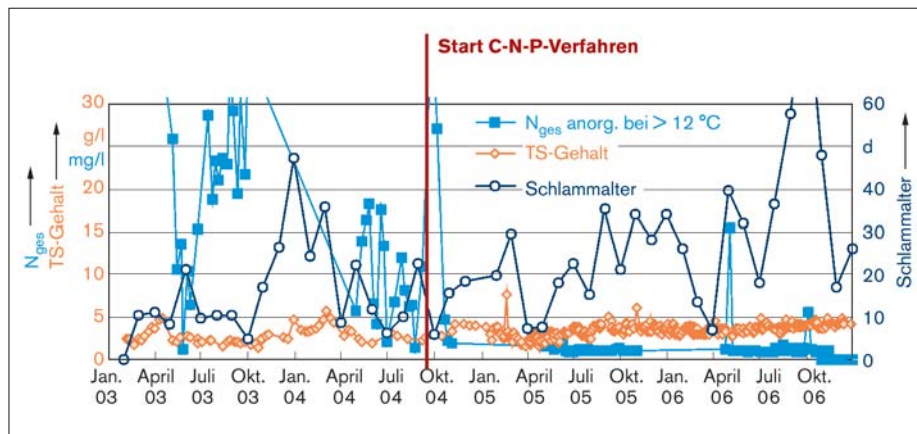
Entscheidender ist aber die Verminderung der Überschussschlammproduktion unter C-N-P-Verfahren, die das rechnerische Schlammalter signifikant erhöht. Bild 3 zeigt ein Beispiel für den signifikanten Anstieg des Schlammalters bei fast konstantem TS-Gehalt.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich der Anteil der belebten Biomasse im Schlamm erhöht, damit auch das effektive Schlammalter.

Es ist aber zu beachten, dass die Erhöhung des Schlammalters nicht unter allen Umständen sinnvoll ist – das C-N-P-Verfahren bietet jedoch die Möglichkeit, ein geeignetes Schlammalter zu wählen, je nachdem für welche Fahrweise die Anlage konzipiert ist.

**Die Schlammbelastung:** Die Schlammbelastung ändert sich zunächst nicht, durch die oben beschriebene Indexabsenkung besteht jedoch die Möglichkeit, den TS-Gehalt in weiteren Grenzen zu variieren und damit eine geeignete Schlammbelastung einzustellen.

**Raumbelastung und Anlagenkapazität:** C-N-P-Verfahrensführung führt zu einer signifikanten Erhöhung der Anlagenkapazität in Bezug auf abgebaute Frachten. Damit sind – bezogen auf das Belebungsbecken – problemlos mittlere



**BEI ANSTIEG DES SCHLAMMALTERS:**  
Ablaufwerte N, TS-Gehalt, Schlammalter

Bild 3

Raubelastungen von  $1,2 \text{ kg } \{\text{CSB}\}/\text{m}^3 \text{ d}$  möglich, mit geringfügigen Einschränkungen auch Raumbelastungen von  $1,8 \text{ kg } \{\text{CSB}\}/\text{m}^3 \text{ d}$ .

Kurzfristige Stoßbelastungen (d. h. ca. 1 Tag) dürfen die o. g. Werte auch überschreiten, wenn durch frachtproportionale Dosierung des ENTEC-Produkts der Belastungsstoß durch Adsorption abgefangen wird und zu einem späteren Zeitpunkt abgearbeitet werden kann.

## Anlagentypen

Das C-N-P-Verfahren ist in Belebtschlammanlagen unterschiedlichen Typs vorteilhaft einsetzbar. Dabei ist es sinnvoll, die Betriebsparameter dem jeweiligen Anlagentyp und dem gewünschten Verfahrensziel anzupassen. Im Folgenden werden einige Beispiele genannt:

### Anlagen mit anaerober Schlammbehandlung (Faulturm)

Wie aus der obigen Verfahrensbeschreibung hervorgeht, ist das C-N-P-Verfahren für diesen Anlagentyp besonders vorteilhaft: Bei abnehmender Überschussschlammmasse erhöht sich gleichwohl die Kohlenstofffracht des Schlammpfads. Damit bietet sich im Faulturm die Möglichkeit zu einem weiteren Kohlenstoffabbau, einhergehend mit erhöhter Gasproduktion und weiterem Masseverlust.

### Anlagen mit aerober Stabilisierung

Als Kriterium für eine aerobe Stabilisierung werden im Allgemeinen angesehen:

- Schlammalter  $> 25 \text{ d}$
- $\text{BSB}_5$ -Schlammbelastung  $< 0,04 \text{ kg } \{\text{BSB}_5\}/\text{kg d}$
- Absinken des Glühverlusts als Indikator für höhere Mineralisation. Eine Erhöhung des Schlammalters tritt stets durch die Verminderung der Überschuss-

schlammproduktion ein und zwar bereits ohne Erhöhung der TS-Konzentration. Die Schlammbelastung bleibt dabei zunächst konstant. Im Bedarfsfall kann eine Erniedrigung erzielt werden, indem die TS-Konzentration entsprechend angehoben wird, was aufgrund der Indexverbesserung im Allgemeinen kein Problem ist. Man könnte nun einwenden, dass aufgrund des geringeren Sauerstoffeintrags die o. g. Zielwerte nicht direkt übernommen werden könnten, Schlammuntersuchungen bei verschiedenen Anlagen zeigen jedoch, dass die erforderliche höhere Oxidation durch das erheblich höhere Schlammalter unter C-N-P-Verfahren gleichwohl erzielt wird.

Bei dieser Verfahrensführung wird man zwar nach wie vor einen Anstieg des C-Gehalts im Schlamm feststellen, der allerdings geringer ausfällt als bei Anlagen mit Faulturm.

### Anlagen mit unzureichender Stickstoff-Eliminierung

Durch Einsatz des C-N-P-Verfahrens lässt sich für alle relevanten Stickstoff-Komponenten ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) eine verbesserte Eliminierung erzielen (Bild 3) – je nach Problematik z. B.:

- Einhaltung der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerte, auch bei vorliegendem  $\text{O}_2$ -Mangel ( $\text{O}_2$ -Mangel wird durch Verminderung des Sauerstoff-Bedarfs behoben).
- Absenkung der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werte, auch ohne Denitrifikationsmaßnahmen, auch ohne zusätzliche C-Quellen
- Absenkung der  $\text{N}_{\text{ges}}$ -Ablaufwerte, z. B. auch Einhaltung des abgesenkten  $\text{N}_{\text{ges}}$ -Ablaufwerts von  $13 \text{ mg/l}$  für Anlagen der Größenklasse 5
- Erhöhung des Wirkungsgrades der N-Eliminierung, z. B. wenn bei hohem Fremdwasseranteil eine 70 %ige Eliminierung zur Erlangung der Ermäßigung der Abwasserabgabe nachgewiesen werden muss.

## Zusammenfassung

Die C-N-P-Verfahrensführung zielt auf die Optimierung des biologischen Systems – d. h. sie verzichtet zunächst bewusst auf „Gegenmaßnahmen“ in Bezug auf bestehende Probleme einer Kläranlage. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass eine Vielzahl von Problemen hauptsächlich dadurch entstehen, dass unkontrollierte, stark wechselnde oder ungünstige Lebensbedingungen für die Mikroorganismen zu geringer Prozessstabilität und unbefriedigender Reinigungsleistung führen. Als Konsequenz setzt das C-N-P-Verfahren darauf, dass sich bei Schaffung günstiger und weitgehend konstanter Lebensbedingungen eine für das Verfahrensziel geeignete Biocoenose einstellt.

Da das C-N-P-Verfahren auf dem Belebtschlammverfahren basiert, können auch die verschiedenen Varianten dieses Verfahrens durch entsprechende Anpassung der Prozessbedingungen realisiert werden. Je nach vorliegendem Abwasser und geforderten Ergebnissen kann durch geschickte Anpassung der Verfahrensführung eine Feinabstimmung erfolgen. Neben so erzielbarer hoher Prozessstabilität und einer Anlagenkapazität und Reinigungsleistung, die den Werten der bisherig üblichen Verfahrensführung überlegen ist, lassen sich auch bei den Betriebskosten erhebliche Vorteile erzielen, insbesondere durch geringeren Energieeinsatz und geringeren Anfall von Reststoffen, was nicht zuletzt auch eine ökologisch schonendere Betriebsweise bedeutet. Damit bieten sich auch für Anlagen, die problemlos arbeiten, ökonomische und ökologische Vorteile.

## LITERATUR

- /1/ Strunkheide, J.: Leistungssteigerung bei Kosteneinsparung. In: wwt, Heft 1-2/2005, S. 10-15
- /2/ Heimann, M.: Leistungserhöhung der Kläranlage senkt Betriebskosten. In: wwt, Heft 5/2002, S. 26-29
- /3/ HeiENTEC GmbH: ÖKO-Brief No. 1: Die C-N-P-Strategie
- /4/ HeiENTEC GmbH: ÖKO-Brief No. 4: Die Optimierung der Stickstoff-Eliminierung
- /5/ HeiENTEC GmbH: ÖKO-Brief No. 2: Weniger Überschussschlamm trotz P-Fällung?

## KONTAKT

**Dr. Michael HEIMANN**  
HeiENTEC Dr. Heimann · Umwelttechnik GmbH  
Burgstraße 27 · 35428 Langgöns  
Tel.: 06447/922936 · Fax: 06447/922937  
E-Mail: info@heientec.de

© 2007  
Alle Rechte vorbehalten, Vervielfältigungen auf Datenträgern jeglicher Art sind verboten.  
HUSS-MEDIEN GmbH, Am Friedrichshain 22,  
10400 Berlin, Tel. 030 42151-0, Fax 030 42151-234,  
www.wwt-online.de