

Die Strahlungswärmeabgabe der Tiere – Kriterium zur Auslegung des Stallklimas

Dr.-Ing. H. Proske

Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Tierproduktion

Verwendete Formelzeichen

A	Abstand der Zylinderachse von der Wand
A_1	Oberfläche des Zylinders, die Wärme abstrahlt
A_2	strahlungsaufnehmende ebene Wandfläche
C_s	Strahlungskoeffizient für schwarze Körper
H	Wandhöhe
H_1	Höhe der Zylinderachse über dem Fußboden
H_2	Abstand der Zylinderachse von der Decke
L	Wandlänge
L_0	Tierlänge
P_1, P_2	Flächenelemente
Q	Wärmestrom
R	Zylinderradius
T_1	Oberflächentemperatur des Zylinders
T_2	Oberflächentemperatur der Wand
s	Abstand der Flächenelemente
α	Polarkoordinate
β	Abweichung von der Flächennormalen
ϵ	Emissionsgrad
Φ	Flächenzuordnungskoeffizient

1. Einleitung

Der sparsame Einsatz von Energie ist in der gesamten Volkswirtschaft wichtigstes Gebot, und die Steigerung der Produktion muß ohne zusätzlichen Energieaufwand ermöglicht werden.

Für die Tierproduktionsanlagen gilt es deshalb, die Energiebilanz gründlich zu analysieren, um die vorhandenen Reserven aufzudecken und nutzbar zu machen. Dabei müssen die energetischen und kostenselbigen Aufwendungen für Futter, Gebäude, Ausrüstungstechnik und Technologie gering gehalten werden. Die sehr energieintensiven Prozesse Lüftung und Wärmeversorgung sind dabei besonders zu berücksichtigen. Die Anforderungen an eine optimale Stalllufttemperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit sind mit einem breiten Toleranzfeld im Standard TGL 29 084 [1] festgeschrieben.

Jedes Tier produziert eine seiner Leistung entsprechende Wärmemenge und gibt diese

auf vier verschiedenen Wegen ab [2]. Durch die Thermoregulation nimmt der lebende Organismus Einfluß auf den Wärmestrom. Bei extrem großem Wärmeentzug durch die Umgebung muß der Tierkörper einen größeren Anteil von der mit der Nahrung verabreichten Energie unökonomisch, d. h. ohne äquivalente Leistung, in Wärme überführen, um damit die Körpertemperatur konstant zu halten.

Die Wärmestromrezeptoren in den tiefer gelegenen Hautschichten registrieren den gesamten Wärmefluß vom Körperinneren zur Körperoberfläche. Behaglichkeit oder Wohlbefinden hängen dabei nicht von der Größe einzelner Faktoren der Wärmeabgabe ab, sondern von ihrer Gesamtheit. Für die Bewertung der Wärmeabgabe der Tiere und der daraus abzuleitenden Anforderungen an das Stallklima ist neben der Konvektion, Leitung und Evaporation auch die Wärmestrahlung zu berücksichtigen.

2. Problemstellung

Das Kriterium für die Auslegung des Klimas in Tierproduktionsanlagen ist die Stalllufttemperatur. Sie allein ist aber nicht ausreichend. Die vier bekannten Wärmeabgabemechanismen der Tiere – Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung und Evaporation – wirken entsprechend der Umgebungstemperatur in unterschiedlichen Anteilen (Bild 1).

Für die Wärmeleitung durch den Stallfußboden bzw. die Standausrüstung, auch bei kurzzeitigem Kontakt, gibt es Theorien und Berechnungsmethoden.

Die Evaporation ist eine Wärmeabfuhr durch Verdunstung von Schweiß auf der Körperoberfläche bzw. von Flüssigkeit in den Atmungsorganen. Damit kann der Körper kurzfristig anfallende große Wärmemengen schnell abführen. Bei sehr hohen Umgebungstemperaturen steigt dieser thermoregulatorische Anteil stärker an. Da bei der Verdunstung von nur 1 g Wasser dem Körper rd. 2,5 kJ entzogen werden, wird deutlich, welche großen Wärmemengen damit abgeführt werden können. Der damit wach-

sende hohe Wasseranteil in der Luft muß bei der Dimensionierung der Luftwechselrate berücksichtigt werden. Die Theorie der konvektiven Wärmeabgabe gründet sich auf die freie und erzwungene Umströmung von kalter Luft um einen wärmeren Körper. Bei der freien Strömung bildet die Dichteänderung sich erwärmender fluider Stoffe den Antrieb für eine Bewegung des Mediums. Auf diese Weise wird mit dem erwärmten Stoff die Wärme vom Körper abgeführt. Wird zusätzlich eine Luftbewegung erzeugt, so können bei der erzwungenen Strömung größere Wärmemengen übertragen werden.

Die Theorien und Erkenntnisse über die Mechanismen der Wärmeabgabe führten zur Festlegung der Klimaparameter im Standard TGL 29 084 (Stallklimagestaltung) [1].

Der Anteil der Wärmeabgabe durch Strahlung wurde bisher rechnerisch nicht genügend erfaßt. Der mit sinkender Wandtemperatur steigende Anteil des Wärmestroms fand bisher nur als nutzbare Wärme Berücksichtigung in der Summe mit der konvektiven Wärmeabgabe. Die theoretischen Betrachtungen führten bisher zu keinen genügend genauen und leicht anwendbaren Berechnungsmethoden.

3. Lösung der Problemstellung

Jeder Körper gibt entsprechend seiner Temperatur Wärmestrahlung an seine Umgebung ab und empfängt auch solche. Die homiothermen Lebewesen (Warmblüter) geben dabei einen höheren Wärmestrom an die tiefer temperierte Umgebung ab, als sie von ihr empfangen. Für eine genaue Quantifizierung der übertragenen Wärmemenge werden die in der Technik bekannten Gesetzmäßigkeiten auf die Tiere angewendet. Um das Verfahren zu vereinfachen, wurde ein Modell geschaffen, das alle wesentlichen Aspekte berücksichtigt, aber doch einige notwendige Einschränkungen macht.

Die Berechnung des Strahlungswärmestroms von einer Fläche A_1 mit einer Temperatur T_1 zu einer zweiten Fläche mit einer geringeren Temperatur T_2 errechnet sich nach Gl. (1):

Bild 1. Veränderung der Anteile der Wärmeabgabe von Rindern in Abhängigkeit von der Lufttemperatur nach [1] und [2]

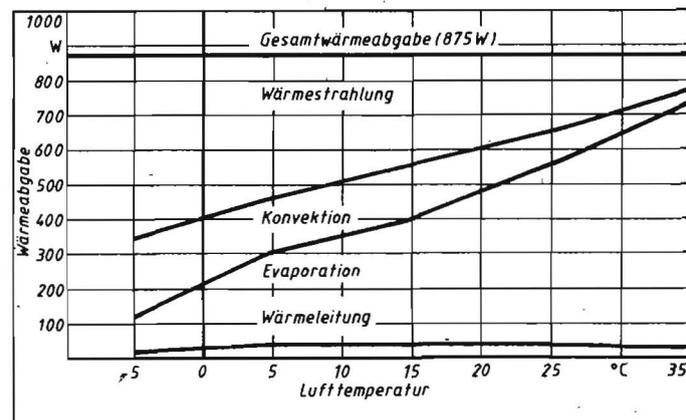
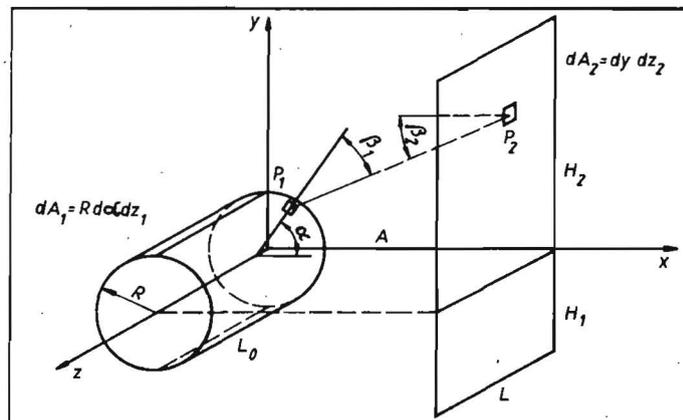


Bild 2. Lage des wärmeabstrahlenden Zylinders zur Wand im Koordinatensystem



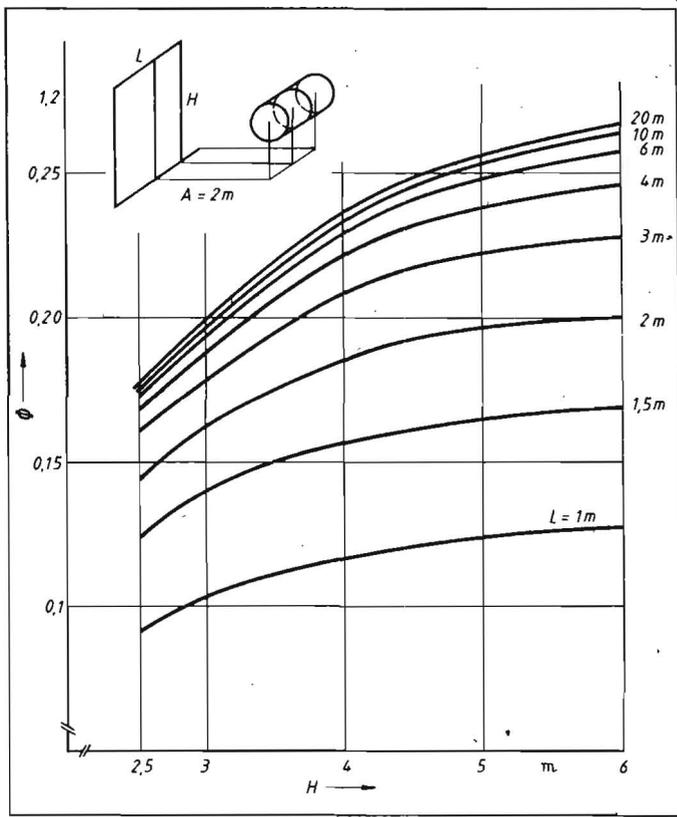


Bild 3. Räumlicher Flächenzuordnungskoeffizient zwischen Tier und Wand

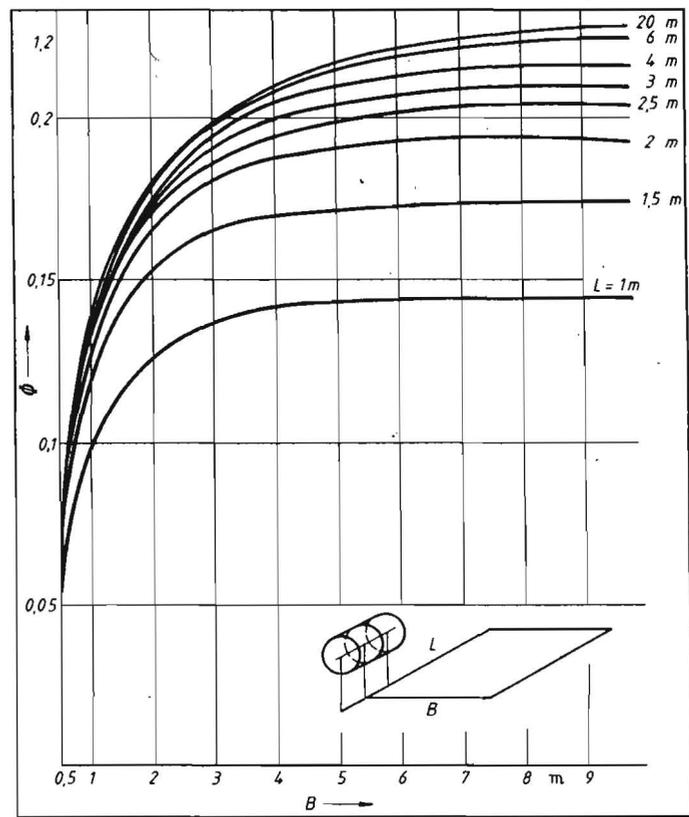


Bild 4. Räumlicher Flächenzuordnungskoeffizient zwischen Tier und Fußboden

$$\dot{Q}_{1,2} = \varepsilon_{1,2} C_s \Phi_{1,2} A_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (1)$$

In der Gleichung werden die Strahlungseigenschaften der beiden Körper $\varepsilon_{1,2}$, der Strahlungskoeffizient für schwarze Körper C_s ($\cong 5,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) und die räumliche Zuordnung der beiden Flächen $\Phi_{1,2}$ berücksichtigt. In diesem Ansatz sind die geringen Wärmeströme, die durch Reflexion auftreten, nicht enthalten.

Für die Anwendung dieser physikalischen Gesetze auf Tierkörper ist es zweckmäßig, einige Vereinfachungen einzuführen. Die strahlungsaufnehmende Fläche soll eben und parallel zur Tierkörperachse angeordnet sein, und der wärmeabstrahlende Tierkörper wird als Zylinder angenommen. Zur mathematischen Lösung ist es günstig, ein Koordinatensystem entsprechend Bild 2 einzuführen.

Die räumliche Zuordnung des Zylinders zu den Raumumschließungsflächen ist nach Gl. (2) zu berechnen:

$$\Phi_{1,2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi s} dA_1 dA_2 \quad (2)$$

Bei der Integration verändern die Flächenelemente P_1 und P_2 auf der Zylinderfläche A_1 bzw. auf der ebenen Wand A_2 ihre Lage. Die Integrationsgrenzen sind damit durch die Flächenbegrenzung festgelegt. Um das entwickelte Modell vielfältig anwenden zu können, war die zu betrachtende Wandlänge L über die Tierlänge L_0 hinaus zu erweitern. Das Modell kann auf verschiedene Tiergrößen Anwendung finden. Nach Festlegung einer Tierart (Masse bzw. Alter) sind die Größen L_0 und H_1 entsprechend den Tierabmessungen feste Werte, während die Parameter Wandhöhe H ($H = H_1 + H_2$), Wandlänge L und der Abstand von der Wand A frei wählbar bleiben. Die Lösungen des Vierfachintegrals sind parameterweise darzustellen.

ebene Wand reichen zwei Flächenzuordnungskoeffizienten, die sich durch die Lage des Zylindermittelpunktes ergeben, aus, um die gesamte Wand zu erfassen. Aus dem gleichen Bild können die Werte für das Wandelement vor und hinter dem Zylindermittelpunkt abgelesen werden. Bei einer Verteilung von Fußboden und Decke für den Ansatz des Berechnungsmodells sind weniger Parameter erforderlich. Die Flächenzuordnungskoeffizienten für Tier und Fußboden sind im Bild 4 dargestellt. Daraus lassen sich für jede beliebige Fußbodenabmessung und für verschiedene Standorte der Tiere die Werte ablesen. Bei sonst gleichen Oberflächenbedingungen gemäß Gl. (1) können die Flächenzuordnungskoeffizienten entsprechend Bild 5 addiert und der gesamte Wärmestrom auf die Wand in einem Rechengang bestimmt werden. Das gilt besonders für die vier Fußbodenflächen.

Wird ein Teil der Fläche im Strahlengang abgeschirmt oder kann er infolge anderer Strahlungseigenschaften nicht berücksichtigt werden, so muss die Fläche A_3 in der Wandfläche A_2 eingezeichnet werden. Die Flächenzuordnungskoeffizienten für die drei Flächen A_1, A_2 und A_3 sind dann entsprechend Bild 6 zu berechnen.

Bild 5. Aufteilung einer Stallwand in zwei Teilflächen A_2 und A_3 entsprechend der Stellung der Zylinderfläche A_1 ; $\Phi_{1,2+3} = \Phi_{1,2} + \Phi_{1,3}$

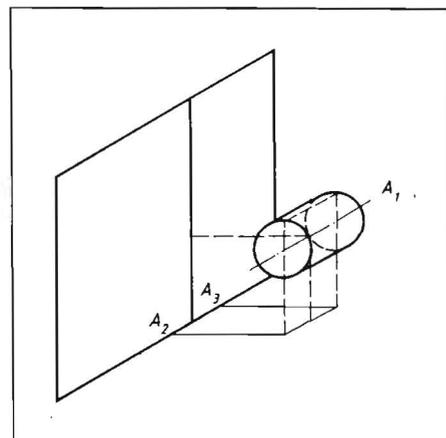
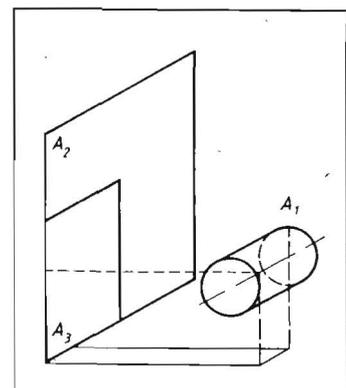


Bild 6. Nicht berücksichtigte Teilfläche A_3 einer Wandfläche A_2 ; $\Phi_{1,2-3} = \Phi_{1,2} - \Phi_{1,3}$



4. Ergebnisse

Die Modellberechnung wurde für die Tierart Rind durchgeführt. Entsprechend den charakteristischen Tierabmessungen und mit den schrittweise veränderten Parametern Wandhöhe, Wandlänge und Abstand von der Wand erfolgte die mathematische Lösung des Modells. Im Ergebnis [3] liegen Kurvenscharen vor, bei denen von den Parametern jeweils einer konstant gehalten wird. Der Flächenzuordnungskoeffizient Φ ist als Funktion der bestehenden Abmessungsverhältnisse aus jeweils einer der Kurven abzulesen (Bild 3).

Ähnliche Bilder entstehen für andere Abstände von der Wand oder wenn die Wandlänge unveränderter Parameter ist. Für eine

lungseigenschaften nicht gleich betrachtet werden, so können die Anteile entsprechend Bild 6 voneinander subtrahiert werden.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Mit dem Modell zur Berechnung des Strahlungswärmestroms von einem Tierkörper auf die ebenen Wände der Tierumgebung wurde dem Ingenieur ein Hilfsmittel zur genaueren Quantifizierung der gesamten Wärmeabgabe und der Wärmeproduktion geschaffen. Da die Strahlungswärmeabgabe mit sinkender Umgebungstemperatur exponentiell zunimmt, ist eine genauere Analyse der Anteile der Wärmeabgabe unter normalen und extremen Bedingungen wichtig.

Bei der Wärmeversorgung von Jung- und Kleintieren findet die Wärmestrahlung bereits breite Anwendung. Ohne hohe Lufttem-

peraturen wird die Wärmeabgabe der Tiere dadurch auf ein erforderliches Maß reduziert.

Die gesamte Wärmeproduktion und -abgabe der Tiere ist art-, masse- und leistungsabhängig. Da für das Tier nur der zu realisierende Gesamtwärmestrom wichtig ist und nicht, auf welchen Wegen die Teilwärmeströme realisiert werden, ist es sinnvoll, Einfluß auf diese Einzelwärmeströme zu nehmen und so in der Gesamtenergiebilanz die optimale Variante zu realisieren. Unter winterlichen Bedingungen könnte durch die Senkung des Strahlungswärmestroms vom Tier an seine Umgebung die Stalllufttemperatur tiefer liegen. Der damit im Zusammenhang stehende ökonomische Vorteil ist offensichtlich. Auch unter sommerlichen Bedingungen kann durch gezielte Veränderungen des Strahlungswärmestroms die Gesamtwärmeabgabe

und damit die Leistung positiv beeinflusst werden.

Deshalb müssen die Gesetzmäßigkeiten der Strahlungswärmeströme zunehmend Berücksichtigung bei der Projektierung neuer und Rekonstruktion alter Tierproduktionsanlagen finden.

Literatur

- [1] TGL 29 084 Stallklimagegestaltung. Ausg. 1986.
- [2] Stolpe, J.; Bresk, B.: Stallklimagegestaltung. Tierphysiologische Grundlagen und Normative. Jena: G. Fischer Verlag 1985.
- [3] Proske, H.: Beitrag zur Klärung der Probleme der tierischen Wärmeabgabe in den Ställen und zur Berechnung der Strahlungswärmeabgabe von Rindern. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A, 1987 (unveröffentlicht).

A 5187

Biogasanlage als erste Stufe der komplexen Gülleaufbereitung im VEG (T) Rippershausen

Prof. Dr.-Ing. G. Beyer, KDT, VEG(T) Rippershausen, Bezirk Suhl

1. Einleitung

Die Gülleaufbereitung im VEG(T) Schweineproduktionsanlage Rippershausen, Bezirk Suhl, ist eine wasserwirtschaftliche, hygienische, technische und ökonomische Aufgabenstellung, deren Lösung von eminenter volkswirtschaftlicher Bedeutung und Tragweite ist.

Die begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Verwertungsflächen im Territorium werden durch das mobile Gülleausbringen überdüngt, es kommt zur Minderung der Bodenfruchtbarkeit, zur Geruchsbelastigung der Bevölkerung und zur Verschlechterung der Gewässer- sowie ggf. der Trinkwasserqualität. Im Rahmen der vom VEG(T) Rippershausen durchgeführten Untersuchungen zeichnen sich folgende Verfahrenswege der Gülleaufbereitung ab:

- Bau einer Biogasanlage zur weitgehenden Eigenversorgung der Schweineproduktionsanlage mit dem Energieträger Biogas bei gleichzeitiger Langzeitdenitrifikation der Gülle und Abbau des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB)
- Nachbehandlung der ausgefaulten Gülle zur Trennung der Feststoffe vom Fugat und Nitrifikation des Fugats
- mikrobiologische Aufbereitung des Fugats bis zur Vorflutreife mit gleichzeitiger Rückgewinnung des biologischen Schlammes.

Die komplexe Lösung dieser Verfahrensschritte bei großen Tierproduktionsanlagen ergibt die folgenden volkswirtschaftlichen Vorteile:

- Substitution von Heizöl, Stadt- oder Erdgas bzw. festen Brennstoffen durch die Biogasproduktion
- Anfall von denitrifizierter ausgefaulte Gülle mit mineralisiertem organischen Stickstoff einschließlich der Hygienisierung und Senkung des BSB
- Gewinnung von Feststoffen aus der ausgefaulten Gülle zur Herstellung von Dünger

mit anorganischen oder/und organischen Abprodukten bzw. Zusatzstoffen (Stroh, Holzspäne, Kali, Kalk, Phosphor oder Stickstoff)

- Nitrifikation des Fugats und Gewinnung von Belebtschlamm für die flüssige Düngung des Bodens bzw. als fester Dünger mit den vorgenannten Abprodukten oder Zurückführung in die Biogasanlage
- Senkung der BSB-Last im nitrifizierten Fugat auf Nutz- bzw. Brauchwasserqualität.

Die Ökonomie dieser komplexen Gülleaufbereitung in industriemäßigen Tierproduktionsanlagen muß gesondert behandelt werden [1], da hier die Landwirtschaftsbetriebe als potentielle Energieerzeuger und Verbrau-

cher in Erscheinung treten und damit, je nach Wetterlage, an 8 bis 10 Monaten im Jahr energieautarke Tierproduktionsanlagen betreiben können.

2. Biogasanlage

Der Aufbau der Biogasanlage und ihr technologischer Ablauf wurden in [2, 3, 4] und im Detail für die Hohlwellen-Rührwerke in [5] beschrieben und dargestellt.

Kennzeichnende Merkmale der Reaktoren sind:

- Verwendung der in der DDR-Landwirtschaft entwickelten und in Fertigteiltbauweise errichteten quaderförmigen Güllebehälter mit 5 Kammern (bisher 3 Kammern)
- Abdeckung des Gasraumes der 5 Kammern und der 5 liegenden Hohlwellen-Rührwerke mit Plastikfolie.

Diese Güllebehälter haben sich seit 20 Jahren in der DDR-Landwirtschaft im störungsfreien Betrieb bewährt.

In Abhängigkeit von der täglich anfallenden Güllemenge einer Tierproduktionsanlage können mehrere Reaktoren hintereinander oder parallel betrieben werden.

Die auszufaulende Gülle durchfließt in Mäanderform mit einer spiralförmigen Pfropfen-

Bild 1. Konzentrationsänderungen c im Eingangssubstrat des Biogasprozesses in Abhängigkeit von der Zeit t (CH_4 , CO_2 , NH_3 und H_2S in gasförmiger Phase);

ΔH_v	substratvolumenbezogene Reaktionswärme
$S_{A, \epsilon}$	Substrateingangs- und Substratausgangskonzentration
$\text{BSB}_{A, \epsilon}$	biologischer Sauerstoffbedarf (Eingang, Ausgang)
N_xO_y	oxydierter Stickstoff
$\text{NO}_2\text{-N}$	Nitrit
$\text{NO}_3\text{-N}$	Nitrat
$\text{O}_2\text{-}\ddot{A}_\epsilon$	Sauerstoff-Äquivalent (Eingang)

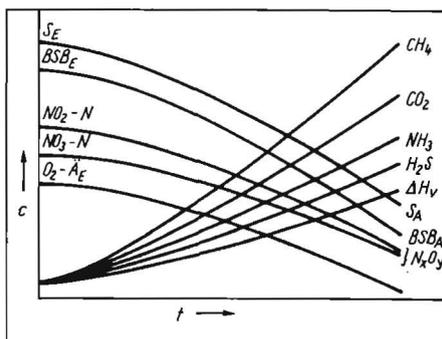


Bild 2. Anaerober Biogasprozeß mit mikrobieller Denitrifikation im Güllesubstrat; N_{xy} Stickstoff (2-, 3wertig) N_{ox} oxydierter Stickstoff

