

Sprache(n) im Physikunterricht

J. Leisen

1 Beispiele für Sprachen im Physikunterricht

• Alltagsprache

Einführende Texte in Lehrbüchern beschreiben oft Alltagserfahrungen und führen auf fachliche Fragestellungen hin. Sie sind im wesentlichen in der Alltagsprache abgefaßt.

• Fachsprache

Merksätze und Definitionen sind gekennzeichnet durch eine hohe Dichte der vorkommenden Fachbegriffe (z. B. brechen, Brechungswinkel, Einfallswinkel, Einfallslot, Einfallsebene, optisch dichter, ...) und durch Satz- und Textkonstruktionen (Tritt ein ..., so wird ...), die in der Allgemeinsprache wenig frequent sind. Der Text kann vom Schüler erst verstanden werden, wenn er bereits viel über Lichtbrechung und Totalreflexion weiß. Es ist ein Fachtext vom Ende und nicht vom Anfang des Optiklernens.

• Mathematische Sprache

Formeln, mathematische Terme und mathematische Darstellungen sind Bestandteil vieler Fachtexte

• Bildsprache

Zur Veranschaulichung und zur Erklärung der Sachverhalte bedient sich der Fachunterricht der Bildsprache in Form von Fotografien, Skizzen, Zeichnungen, Grafiken, Diagrammen etc., aber auch gleichnishafter Darstellungen und Analogien.

• Unterrichtssprache

Hinführende, erläuternde und erklärende Passagen in Fachtexten bemühen sich anschaulich und beispielgebunden um eine allmähliche, sanfte Hinführung zum Fachlichen. Diese Textpassagen wollen dem Unterrichtsgespräch recht nahe kommen. Sie stellen so etwas wie eine gereinigte, sprachlich verdichtete Unterrichtssprache dar. Es ist aber kaum möglich und sinnvoll, die im Unterricht verwendete Sprache auch im Lehrbuch zu dokumentieren; denn was im Lehrbuch auf zwei Textseiten erscheint, verteilt sich im Unterrichtsgeschehen oft auf mehrere Stunden. Erst die Transkription von Videomitschnitten fördert den Umfang und die Charakteristika der Unterrichtssprache zutage:

Beispiel:

L: Wir halten den Bleistift halb in Wasser. So ein bißchen schrög. Wenn wir oben draufschauen, dann ist er geknickt. Ist er denn wirklich geknickt?

SI: Nee, das ist bloß eine optische Täuschung, der ist immer noch gerade. Zieh'n Sie ihn doch wieder raus ... Sehn Sie, gerade!

L: Wieso erscheint er uns denn geknickt?

SI Das Licht macht das. Im Wasser kann es nicht so gut durchkommen ... glaub ich.

S2: Nein, ich denke, daß das Auge, wenn es durch das Wasser schaut, nicht so gut durchsieht ... äh und deshalb alles so kürzer sieht, mein ich ...

L: Wer ist für das Phänomen verantwortlich: das Auge, das Licht- oder das Wasser? Begründe mit dem Sender-Empfänger-Modell.

S: Es kann nur das Licht in Kombination mit dem Wasser sein, weil das Auge nur empfängt, also nicht aktiv ist.

L: Ist das nicht paradox. Der Bleistift scheint nach oben geknickt, gerade weil der Lichtstrahl nach unten gebrochen ist!

S: (lachen) komisch.

L: Verstehen heißt hier, diese zwei Sachen müssen wir im Kopf zusammenbringen.

Das Beispiel entstammt einem fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch. Hier wird mit Alltagsbegriffen und mit laienhaft verwendeten Fachbegriffen physikalisches Wissen und Denken auf der aktuellen Könnensstufe formuliert. In dieser Unterrichtssprache bietet sich dem Schüler das Fach dar. Sie füllt den Fachunterricht beträchtlich aus und ist keine falsche Sprache, sondern als „Werkstattsprache“ oder als „Methodische Zwischensprache“ eine „Noch-Nicht-Fachsprache“ (vgl. [1]).

2 Kennzeichen der Sprachen im Physikunterricht

Alltagssprache

- Sie ist eng mit der Erlebnis- und Erfahrungswelt verbunden und verwendet bevorzugt antropomorphe Formulierungen (z. B. eine Kraft haben, die Batterie ist leer, eine Geschwindigkeit geben, ...).
- Sie deckt größere Bedeutungsfelder ab (z. B. Kraft, Waschkraft, Sehkraft, Geisteskraft, Überzeugungskraft, Heilkräfte, ...) und ist in besonderem Maße kontextabhängig.
- Ihr Stil ist nuancenreich, redundant, blumig, umschreibend, bild- und gleichnishaft.

Unterrichtssprache

- Sie ist Alltagssprache, durchsetzt mit Brocken und Versatzstücken der Fachsprache.
- Sie bezieht sich oft auf einen konkreten und speziellen Fall ohne die erforderliche Verallgemeinerung oder verallgemeinert unzulässig weit.
- Der Ausdrucksweise fehlt oft die aus- oder einschließende Präzision (z. B. mittels Adjektiven, Adverbien), die Eindeutigkeit und die logische Abhängigkeit (z. B. mittels logischer Bindewörter: da, trotz, weil, ...).
- Sie formuliert oft operativ und handlungsbezogen an konkreten Gegenständen und Sachverhalten.

Lichtbrechung und Totalreflexion



1 Brechung und Reflexion eines Lichtstrahls an der Wasseroberfläche

Tauche eine Leuchte in einen Kamm, senkrecht über dem Mittelpunkt in ein wassergefülltes Gefäß und betrachte ihn von der Seite. Vergleiche die Aussehen der Teile über Wasser und unter Wasser. Wo hast Du Ähnliches schon bemerkt? Durch das ruhige und klare Wasser eines flachen Sees können wir Gegenstände auf ihre Grundriss erkennen. Warum erscheinen sie brennend und verschwommen, sobald man das Wasser bewegt?

Lichtbrechung an der Wasseroberfläche. Sehen wir Gegenstände durch Luft, Glas, Wasser und andere durchsichtige Stoffe wirklich völlig unverändert? Erfährt das Licht beim Durchgang durch solche Stoffe keinerlei Veränderung? Wir klären diese Frage, indem wir mit Lichtstrahlen experimentieren.

• Versuch: Wir füllen nach ▶ 26.1 einen kugelförmigen Glaskolben genau zur Hälfte mit Wasser. Wir färben das Wasser mit einem Farbstoff, der das Licht streut. In den Raum über dem Wasser bringen wir etwas Rauch oder Nebel, damit auch hier Lichtstrahlen durch Streuung sichtbar werden.

Wenn wir einen Lichtstrahl senkrecht auf die Wasseroberfläche auftreffen lassen, so behält er auch im Wasser seine ursprüngliche Richtung bei. Wir schwenken die Lampe so, daß der Strahl schräg von links oben auf die Mitte der Wasseroberfläche trifft. Im Inneren des Wassers verläuft der Strahl jetzt schräg nach rechts unten, aber steiler gegenüber der Wasseroberfläche als der einfallende Strahl.

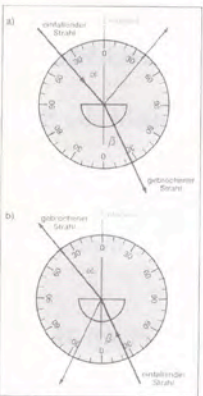
Der Lichtstrahl ist also im Inneren des durchsichtigen Stoffes wieder geradlinig. Dagegen erfährt er an der Wasseroberfläche, d. h. an der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser, eine plötzliche Richtungsänderung: Er wird an der Oberfläche **gebogen**. Wir bezeichnen seine beiden Abschnitte als **einfallenden** und **gebrochenen Strahl**.

Wir beobachten in unserem Versuch ferner, daß von der Auftreffstelle des einfallenden Strahls ein reflektierter Strahl ausgeht. Wir wissen ja bereits, daß die Oberfläche von durchsichtigen Körpern auftretendes Licht teilweise reflektiert (S. 20). Es gilt das Reflexionsgesetz.

Betrachten wir nun unser Versuchsgesäß (▶ 26.1) von der Seite, so sehen wir, daß alle drei Strahlen in einer zur Wasseroberfläche senkrechten Ebene, der **Einfallsebene**, liegen. Die Richtungen der drei Strahlen beschreiben wir wie bei der Reflexion durch ihre Winkel gegenüber dem Einfallslot. Der Winkel des einfallenden Strahls heißt **Einfallswinkel**, der Winkel des gebrochenen Strahls **Brechungswinkel**.

• Mit ein Lichtstrahl von Luft her in Wasser ein, so wird er stets so gebrochen, daß der Brechungswinkel kleiner ist als der Einfallswinkel. Der Strahl wird **senkrechtler** hin gebrochen. Der einfallende, der gebrochene und der reflektierte Strahl liegen in der Einfallsebene.

Trifft in unserem Versuch das Licht sehr flach auf die Wasseroberfläche auf, so bemerken wir, daß der gebrochene Strahl farbig aufgefächert ist. Das Licht wird offenbar nicht völlig einheitlich gebrochen. Man bezeichnet diese Erscheinung als **Dispersion des Lichtes**. Wir werden sie später eingehend untersuchen (S. 54).



2 Bei der Lichtbrechung ist der Lichtweg umkehrbar. a) Lichtfall vom optisch dünneren Stoff, b) Lichtfall vom optisch dichteren Stoff

Lichtbrechung und Totalreflexion

Totalreflexion. Beim Übergang eines Lichtstrahls von Luft nach Glas betrug der größte Winkel β im optisch dichteren Stoff 42°.

Lesen wir jedoch den Lichtstrahl vom optisch dichteren Stoff auf die Grenzfläche fallen, so können wir für β jeden Winkel zwischen 0° und 90° wählen. Aufgrund unserer bisherigen Versuche können wir nicht vorhersagen, wie sich der Strahl verhalten wird, wenn er unter einem größeren Winkel als 42° vom Glas her auftritt.

• Versuch: Wir wählen in der Anordnung ▶ 26.2b den Winkel β größer als 42°. Nun tritt der Strahl überhaupt nicht aus dem Glaskörper aus, sondern er wird vollständig reflektiert. Die Grenzfläche Glas/Luft wirkt wie ein Spiegel. Diese Erscheinung wird **Totalreflexion** genannt. Der Einfallswinkel, von dem ab Totalreflexion erfolgt, ist gerade der größte Winkel zwischen Strahl und Lot im dichteren Stoff, den wir bei unseren Messungen gefunden haben. Er heißt **Grenzwinkel der Totalreflexion**. Wir können diesen Grenzwinkel am rechten Rand des Schaubildes ▶ 27.2 für jedes Stoffpaar ablesen. Für Luft/Diamant beträgt er z. B. nur 24°. Ein Lichtstrahl kann also aus einem Diamanten nur dann austreten, wenn er steiler als unter 24° auf die Oberfläche trifft.

Beim Übergang vom optisch dichteren in den optisch dünneren Stoff findet Totalreflexion statt, wenn der Einfallswinkel größer ist als der Grenzwinkel.

Der Einfallswinkel in Luft betrage 45°. Wie groß ist der Brechungswinkel in Wasser, Glas, Diamant? Benutze das Schaubild ▶ 27.2.

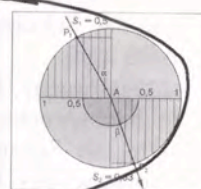
Der Einfallswinkel in Wasser (Glas, Diamant) betrage 20°. Wie groß ist der Brechungswinkel in Luft? Benutze das Schaubild ▶ 27.2.

Bei der Untersuchung der Lichtbrechung zwischen Luft und Wasser benutzten wir ein Glasgefäß. Das Licht ging also auch durch die Glaswand. Durch Kombination der Messungen an Luft/Glas und Luft/Wasser (▶ 27.1 und 27.2) können wir auch Wertepaare für die Lichtbrechung an der Grenze Wasser/Glas gewinnen.

Das Snelliussche Brechungsgesetz. Snellius entdeckte, daß man dem Brechungsgesetz die Form einer Gleichung geben kann, wenn man nicht die Winkel α und β , sondern ihre Sinus mißt. Dies sind die Halbsehnen S_1 und S_2 auf einer optischen Scheibe nach ▶ 28.2, gemessen in Bruchteilen des Kreisradius.



1 Brechung und Totalreflexion an der Wasseroberfläche



2 Optische Scheibe mit Koordinatensystem zur Messung der Halbsehnen

Luft S_1	Glas S_2	Wasser S_2	Wasser S_2	Wasser S_2
0,1	0,085	1,54	0,075	1,33
0,2	0,13	1,54	0,15	1,33
0,3	0,195	1,54	0,22	1,36
0,4	0,26	1,54	0,29	1,38
0,5	0,33	1,51	0,37	1,35
0,6	0,39	1,54	0,45	1,33
0,7	0,46	1,52	0,52	1,35
0,8	0,53	1,51	0,60	1,33
0,9	0,60	1,50	0,67	1,34

3 Messung der Brechzahl n für die Stoffpaare Luft/Glas und Luft/Wasser mit Hilfe der optischen Scheibe

In Tabelle ▶ 28.3 sind Messungen an Glas und an Wasser wiedergegeben. Dort berechnen wir auch die Quotienten S_1/S_2 und finden für jedes Stoffpaar einen konstanten Wert, die **Brechungszahl n** des Stoffpaares. In der Sprache der Mathematik lautet damit das Brechungsgesetz:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

Man kann die Brechungszahl n auch mit Hilfe der Winkel α und β bestimmen, wenn man nur genügend kleine Winkel in Betracht zieht. Berechne in Tabelle ▶ 27.1 die Quotienten $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$. Bis zu $\alpha = 30^\circ$ erhältst Du auch hier Zahlenwerte, die gleich der Brechungszahl n sind.

Für kleine Winkel α und β läßt sich die Brechungszahl n näherungsweise bestimmen:

$$n = \frac{\alpha}{\beta}$$

? Aufgaben

- Der Einfallswinkel in Luft betrage 45°. Wie groß ist der Brechungswinkel in Wasser, Glas, Diamant? Benutze das Schaubild ▶ 27.2.
- Der Einfallswinkel in Wasser (Glas, Diamant) betrage 20°. Wie groß ist der Brechungswinkel in Luft? Benutze das Schaubild ▶ 27.2.
- Bei der Untersuchung der Lichtbrechung zwischen Luft und Wasser benutzten wir ein Glasgefäß. Das Licht ging also auch durch die Glaswand. Durch Kombination der Messungen an Luft/Glas und Luft/Wasser (▶ 27.1 und 27.2) können wir auch Wertepaare für die Lichtbrechung an der Grenze Wasser/Glas gewinnen.

Abb. 1: Die Textseiten aus einem Physikbuch des einführenden Optikunterrichts zeigen die Verwendung verschiedener Sprachen im Physikunterricht.

Fachsprache

- Das Hauptmerkmal der Fachsprache liegt in der Lexik, in der gehäuft Verwendung von Fachbegriffen.
- Die Fachsprache verwendet keine morphologischen und syntaktischen Strukturen, die nicht in der Alltagssprache vorkommen.
- Sie unterscheidet sich von der Alltagssprache durch die Häufigkeit, mit der gewisse syntaktische und morphologische Strukturen vorkommen, die aber Schwierigkeiten im Verständnis und in der Verwendung bereiten.
- Diese sprachlichen Besonderheiten sind:
 - morphologische Besonderheiten:
 - substantivierte Infinitive (das Hobeln, das Fräsen);
 - Substantive auf -er: nomina agentis (Fahrer, Dreher), nomina instrumenti (Zeiger, Zähler, Schwimmer);
 - Adjektive auf -bar, -los, -reich, -arm, -frei, -fest usw. (brennbar, nahtlos, vitaminreich, sauerstoffarm usw.);
 - Adjektive mit Präfix „nicht-“ (nichtleitend);
 - mehrgliedrige Komposita (Zylinderkopfmutter);
 - Zusammensetzungen mit Ziffern, Buchstaben, Sonderzeichen (T-Träger, 60-Watt-Lampe, U-Rohr);
 - Mehrwortkomplexe (elektronische Datenverarbeitung, Flachkopfschraube mit Schlitz);
 - Bildungen aus und mit Eigennamen (galvanisieren, röntgen, Bunsenbrenner, Ottomotor);
 - fachspezifische Abkürzungen (DGL für Differentialgleichung).

syntaktische Besonderheiten:

- Funktionsverbgefüge (in Angriff nehmen, Anwendung finden, in Betrieb nehmen);

- Nominalisierungsgruppen (die Instandsetzung der Maschine, der Überführungsvorgang);
- erweiterte Nominalphrasen, Satzglieder anstelle von Gliedsätzen (nach der theoretischen Vorklärung, beim Abkühlen des Materials);
- komplexe Attribute anstelle von Attributsätzen (das auf der Achse festsetzende Stirnrad; der vorfristig beendete, genehmigungspflichtige Vorgang);
- bevorzugte Nebensatztypen: Konditionalsätze, Finalsätze, Relativsätze;
- bevorzugte Verbkonstruktionen: 3. Person Singular/Plural; Indikativ Präsens; Passiv-Formen (Vorgangs- und Zustandspassiv), Imperative;
- unpersönliche Ausdrucksweise (man nimmt dazu; Strahlungen lassen sich schwer nachweisen; mit dem Festzurren erübrigt sich die Kontrolle).

Mathematische Sprache

- Die Hauptmerkmale der mathematischen Sprache liegen im Gebrauch fast ausschließlich theoretischer Begriffe und in dem hohen Grad der Normiertheit.
- Der formale Charakter der mathematischen Sprache drückt sich vornehmlich in der mathematischen Symbolik aus.

Bildsprache

- Es gibt realitätsnahe Bilder, Fotografien, Zeichnungen, Skizzen, Funktionsmodelle etc., welche veranschaulichen.
- Es gibt gleichnishaft Darstellungen, Metaphern, die „innere Bilder“ und Projektionen mit Assoziationen hervorrufen.

3 Der didaktische Ort der Sprachen im Physikunterricht

„Die Welt ist viel zu reichhaltig, als daß es möglich wäre, sie in einer einzigen Sprache auszudrücken.“ (Prigogine) Auf den Physikunterricht bezogen läßt sich das Diktum umschreiben:

Der Physikunterricht ist didaktisch viel zu reichhaltig, als daß es vertretbar wäre, nur eine einzige Sprache zu benutzen.

Die Vielfalt der Welt und ihrer Menschen erfordert für verschiedene Aspekte verschiedene Sprachen. Daraus entsteht ein *didaktischer Imperativ*: Der Lehrer nutze jeweils die Sprache im Physikunterricht, in der das physikalische Handeln, Erleben und Verstehen bestmöglichst sinnvoll wird.

Zur Einschätzung des angemessenen Einsatzes der Sprachen gilt es, ihren didaktischen Ort auszuloten.

Der didaktische Ort der Alltagssprache

- Der didaktische Ort der Alltagssprache ist der Anfang des Physiklernens, da wo der Schüler gedanklich und sprachlich abgeholt werden muß.
- „Die Muttersprache (Alltagssprache, *J. L.*) ist die Sprache des Verstehens, die Fachsprache besiegelt es, als Sprache des Verstandenen. Die Sprache der Physik ist also nicht einfach die Sprache des Physikunterrichts. Muttersprache ist nicht Abraum, sondern Fundament. Sie führt zur Fachsprache, sie beschränkt sich auf sie hin. Sie entläßt sie mit ihrem Segen, und nicht darf sie (wie so oft) ihr verstummend Platz machen.“ (*M. Wagenschein*)

Muckenfuss hat sich mit dieser Auffassung *Wagenscheins* kritisch auseinandergesetzt und bemerkt zutreffend, daß der Physikunterricht wieder auf die Alltagssprache zurückführen muß. „Wenn man eine wesentliche Aufgabe des Physikunterrichts darin sieht, Physik in lebenspraktischen Zusammenhängen kommunizierbar zu machen, dann bildet die Fähigkeit, Physikalisches alltagssprachlich ausdrücken zu können, das Unterrichtsziel. Kommunikative Kompetenz auf der Ebene der Alltagssprache steht dann am Ende des Lernprozesses und ist kein Durchgangsstadium“ ([2], S. 249). Viele Sachverhalte sind aufgrund Ihrer Theorievermittlung jedoch nicht in der Alltagssprache kommunizierbar. Deshalb ist eine vorsichtiger Formulierung angebracht.

- Der didaktische Ort der Alltagssprache ist das Ende des Physiklernens, da wo es für den Schüler möglich ist, gelernte Sachverhalte wieder alltagssprachlich auszudrücken.

Der didaktische Ort der Fachsprache

- Der didaktische Ort der Fachsprache ist gegen Ende des Physiklernens, dort wo „eine mühsam errungene Erkenntnis zur Definition herabsinkt.“ (*Jung*)
- Die Fachsprache als Sprache des sozialisierten Fachmanns ist „tendenziell nicht kommunikativ.“ (*Muckenfuss*)

Der didaktische Ort der Mathematischen Sprache

- Der didaktische Ort der Mathematischen Sprache ist derselbe wie der der Fachsprache.
- „Im Endzustand schnürt sich die physikalische Aussage sogar von der Sprache ab und verdichtet sich in mathematischen Symbolen.“ (*Wagenschein*)

Der didaktische Ort der Bildsprache

- Der didaktische Ort der Bildsprache ist da, wo Begriffe und Vorstellungen geboren werden.
- Die Bildsprache in inneren Bildern ist der Katalysator des Verstehens; unverzichtbar für die Begriffsbildung und für den Verstehensprozeß, kommt aber in den physikalischen Resultaten und in der Fachsprache selten unmittelbar vor.
- Ein Bild sagt mehr als tausend Worte; die Bildsprache ist die sichtbare Seite der Anschaulichkeit der Physik. Die Bildsprache in äußeren Bildern ist tendenziell extrem kommunikativ.

Der didaktische Ort der Unterrichtssprache

- Der didaktische Ort der Unterrichtssprache ist der Weg zum Verstehen beim sprachlichen Ausschärfen, Aushandeln und begrifflichen Umwenden.
- „Die Sprache im Physikunterricht ist nicht die Sprache der Physik.“ (*Wagenschein*)
- Die Unterrichtssprache ist die „Leiter, die man verbrennen kann, wenn man oben angekommen ist.“
- Die Unterrichtssprache formuliert nicht minderwertig, sondern schülergemäß.

Beispiel:

Mitschüler: „Am Flaschenzug macht man es so: Man zählt die Seilstücke rechts und links von den losen Rollen und teilt das Gewicht durch diese Zahl. Das ist dann die Zugkraft am Flaschenzug.“

Lehrbuch: „Hängt beim Flaschenzug die Last an n tragenden Seilabschnitten, so ist die am Seilende erforderliche Zugkraft F gleich dem n -ten Teil der Gewichtskraft L der Last.“ (*Dorn-Bader: Physik Mittelstufe. Hannover: Schroedel 1980, S. 45*) Die *Mitschüler* kommentieren die *Schülerregel* mit: „So kann ich mir das merken“ und die *Schulbuchregel* mit: „Das verstehe ich nicht“.

Die *Schülerregel* ist in eine nachvollziehbare Handlungsanweisung gefaßt. Auch wenn der Terminus „Gewicht“ statt „Gewichtskraft“ und Gewicht dabei gleichzeitig für die Last verwendet wird, so ist doch für alle *Mitschüler* die Mitteilungsabsicht erreicht. Die Kommunikation ist nicht trotz, sondern wegen der fachsprachlichen Mängel gelungen. Der Weg zur Physik ist von sprachlichen Mehrdeutigkeiten begleitet, weil Kommunikation als Prozeß von Bedeutungszuweisungen und Bedeutungsveränderungen dieser sprachlichen Vagheit bedarf. Der Begriff, die Aussage, der Sprachterm kann nur so präzise sein, wie es die jeweilige Denkstruktur des Schülers zuläßt. Die sprachliche Beschreibung und das Fachinhaltslernen entwickeln sich im Kopf des Schülers gleichzeitig wechselseitig.

Sprachlernen kann vom Fachlernen nicht abgekoppelt werden: „Fachlernen ohne Sprachlernen ist blind, so wie Sprachlernen ohne Fachlernen hohl ist“. Der Unterrichtssprache kommt bei diesem Prozeß die entscheidende didaktische Rolle zu.

Literatur

- [1] *Leisen, Josef*: Handbuch des deutschsprachigen Fachunterrichts, Bonn: Varus 1994. 335 S.
 [2] *Muckenfuss, Heinz*: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Berlin: Cornelsen 1995.

Anschrift des Verfassers:

StD *Josef Leisen*, Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien, Zwickauer Str. 22, 56075 Koblenz